corso di RADIOTECNICA

pubblicazione settimanale - 28 genn. - 4 febbr. 1961 - un fascicolo lire 150 18° numero

corso di

RADIOTECNICA

settimanale a carattere culturale

Direzione, Amministrazione, Pubblicità:
Via dei Pellegrini 8/4 - Telef. 593.478

MILANO

Ogni fascicolo — contenente 3 lezioni — costa lire 150, acquistato alle edicole.

Se l'edicola risulta sprovvista, o si teme di rimanere privi di qualche numero, si chieda invio settimanale direttamente al proprio domicilio a mezzo abbonamento.

Il versamento per ricevere i 52 fascicoli costituenti l'intero Corso è di lire 6500 + I.G.E. = lire 6630. A mezzo vaglia postale, assegno bancario, o versamento sul conto corr. postale 3/41.203 del « Corso di RADIOTECNICA » - Via dei Pellegrini 8-4 - Milano.

In ogni caso, scrivere in modo molto chiaro e completo il proprio indirizzo.

L'abbonamento può essere effettuato in qualsiasi momento; si intende comprensivo delle lezioni pubblicate e dà diritto a ricevere tali lezioni, che saranno inviate con unica spedizione.

Estero: abbonamento al Corso, Lit. 8.500. ($ 15). Numeri singoli Lit. 300 ($ 0,50).

Per i cambi di indirizzo durante lo svolgimento del Corso, unire lire 100, citando sempre il vecchio indirizzo.

Fascicoli singoli arretrati — se disponibili — possono essere ordinati a lire 300 cadauno.

Non si spedisce contrassegno.

Distribuzione alle edicole di tutta Italia: Diffus. Milanese . Via Soperga, 57 - Milano.

Direttore responsabile: Giulio Borgogno.

Autorizzaz. N. 5357 - Tribunale di Milano.

Stampa: Intergrafica S.r.l. - Cologno Monzese.

La Direzione non rivende materiale radio; essa può comunicare, se richiesta, indirizzi di Fabbricanti, Importatori, Grossisti ecc. in grado di fornire il necessario ed ai quali il lettore può rivolgersi direttamente.

Alla corrispondenza con richiesta di informazioni ecc. si prega allegare sempre il **francobollo per la risposta**.

Parte del testo e delle illustrazioni è dovuta alla collaborazione del Bureau of Naval Personnel, nonchè al Dept. of the Army and the Air Force - U.S.A.

A chi può essere utile questo Corso? Anzitutto — stante la sua impostazione — il Corso, basato sull'esposizione in forma a tutti accessibile, della radiotecnica, dai suoi elementi basilari alla evoluzione più recente, rappresenta la forma ideale per tutti coloro che intendono dedicarsi all'elettronica, sia come forma ricreativa sia — soprattutto — per l'acquisizione di una professione specializzata che possa procurare loro una posizione di privilegio in seno alla società odierna.

Anno per anno, la nostra civiltà si indirizza sempre più verso questa meravigliosa, si potrebbe dire fascinosa, elettronica, che nel modo più evidente consente sviluppi impensati, progressi grandiosi e una rapida evoluzione di tutti gli altri rami dello scibile che essa tocca e influenza.

L'industria, tutta l'industria, nel senso più ampio, da quella elettrotecnica a quella meccanica, alla metallurgica, alla chimica ecc., con i suoi laboratori di ricerca e le sue fabbriche richiede, e richiederà sempre più, con un ritmo rapidamente crescente, tecnici specializzati con conoscenza dell'elettronica, tecnici specificatamente elettronici e persino operai e impiegati di ogni ordine e categoria con cognizioni di elettronica.

Si può dire che anche le branche commerciali, quelle dei trasporti e persino quelle amministrative con le recenti introduzioni delle calcolatrici, abbisognano di personale che conosca i principi dell'elettronica, le macchine relative, il loro pieno sfruttamento, la eventuale riparazione ecc. e, quanto più in modo completo, quanto meglio.

Nasce, da una tale situazione, una logica conseguenza: per la scelta di una professione o di un mestiere, per un miglioramento della propria posizione sociale, per l'intrapresa di una libera attività o anche per la sola acquisizione di cognizioni che indubbiamente verranno oltremodo utili, è quanto mai opportuno riflettere se non sia conveniente dedicare un po' di tempo allo studio di questa scienza che ha tra l'altro il pregio di rendersi immediatamente attraente, concreta, accessibile e foriera di moltissime soddisfazioni.

A questo scopo appunto, e con questi intenti, è stato redatto questo Corso.

Non mancano invero altri corsi (specie per corrispondenza) o scuole di radiotecnica, nè mancano (sebbene siano in numero del tutto inadeguato) scuole statali o pareggiate ma la struttura e l'impostazione che caratterizzano queste 156 lezioni sono alquanto particolari, presentando non pochi vantaggi sulle diverse altre forme di cui si è detto.

Anzitutto vogliamo porre in evidenza **il fattore economico.**

Frequentare regolarmente, durante tutto l'anno, una scuola è certo il modo più logico — anche se non il più rapido — per apprendere ma, tralasciando il fatto che rarissimi sono gli Istituti di radiotecnica, è a tutti possibile dedicarsi esclusivamente, e per l'intero anno, allo studio? Noi riteniamo che chi può farlo costituisca oggi assai più l'eccezione che la regola. Ciò significa infatti poter disporre liberamente del proprio tempo senza avere la necessità di un contemporaneo guadagno: il nostro Corso permette a chiunque di studiare a casa propria, nelle ore libere dal lavoro, senza abbandonare o trascurare quest'ultimo. Ciò caratterizza invero anche altri corsi, ma il vantaggio economico diviene notevole ed evidentissimo se si considera che di fronte all'esborso, anche se rateale, di quasi 80.000 lire che i corsi per corrispondenza richiedono, seguendo il nostro Corso la spesa in un anno risulta di poco più di 7500 lire (150 lire alla settimana presso un'edicola) o di 6630 lire totali, con recapito postale, settimanale, delle lezioni a domicilio.

E' superfluo dire che la Modulazione di Frequenza, i transistori, i circuiti stampati, la trasmissione, il telecomando ecc. sono argomenti integrali del Corso e non costituiscono motivo di corsi speciali, aggiunti o particolari.

Le lezioni di questo Corso — a differenza di molte altre — non sono stampate con sistemi di dispensa, a ciclostile, o con sistemi più o meno analoghi, derivanti cioè da un originale battuto a macchina da scrivere; esse sono stampate in uno stabilimento grafico, con chiari caratteri tipografici da cui deriva una assai più agevole lettura e — fattore certamente di non secondaria importanza — un contenuto molto più ampio, corrispondendo una pagina a stampa a tre o quattro pagine di quelle citate. Il lettore avrà, alla fine del Corso, un volume di ben 1248 pagine di grande formato!

Chiunque, indipendentemente dall'età, dalla professione e dalle scuole compiute **può seguire il Corso.** Alle esposizioni teoriche si abbinano numerose, attraenti, istruttive ed utili descrizioni che consentono la realizzazione di ricevitori, amplificatori, strumenti vari e persino di trasmittenti su onde corte.

A questo proposito è sintomatico il fatto che la Direzione non vuole assolutamente assumere la fisionomia di un fornitore o commerciante di materiale radio, rivendendo agli allievi le parti necessarie. Il materiale occorrente l'interessato può acquistarlo dove e come meglio crede e, assai spesso anzi, già ne dispone. Viene così evitato l'acquisto forzoso, caratteristico più o meno di tutti gli altri corsi.

Anche chi è già radiotecnico, anche chi ha seguito o segue altri corsi troverà il massimo tornaconto in questo completo ed aggiornato lavoro. Molte nozioni, è logico, saranno note, altre un po' meno e sarà utile rinfrescarle, e il tutto infine costituirà un manuale di consultazione, prezioso tanto per la teoria esposta quanto per i numerosi schemi, per le tabelle, per i grafici, gli elenchi, i dati, il vocabolario dei termini ecc.

Concludendo, si può affermare che questo **Corso di Radiotecnica** oltre che come insegnamento graduale si presenta come **enciclopedia e rivista assieme** ciò che permette di formare — con modestissima spesa — **il più completo, ricco, utile e pratico volume di radiotecnica di cui sia dato oggigiorno disporre.**

LA VALVOLA come AMPLIFICATRICE

Un amplificatore elettronico è un dispositivo adottante una o più valvole termoioniche ed i relativi circuiti, predisposti per aumentare l'ampiezza o l'intensità di un segnale, ossia per amplificarlo in tensione, o in corrente. Sappiamo già perchè la valvola può compiere tale lavoro: una piccola tensione applicata alla griglia, controlla il passaggio di notevoli correnti nel circuito di placca.

La **figura 1-A** illustra un circuito tipico di triodo amplificatore. La batteria *C* dà alla griglia un potenziale negativo costante rispetto al catodo. Il segnale da amplificare, E_s, è — come si vede — in serie a detta tensione di polarizzazione E_c. Il carico della valvola è un dispositivo, collegato in serie alla placca, attraverso il quale passa la corrente anodica resa variabile dal segnale alternato presente sulla griglia.

In assenza di tale segnale, il flusso della corrente anodica attraverso il carico è costante. La sorgente di tutta la corrente anodica è la batteria *B*, detta appunto *anodica*, che mette a disposizione la tensione E_b. La corrente di placca varia conformemente ai diversi valori di tensione del segnale applicato alla griglia, aumentando quando quest'ultima diventa meno negativa, e, viceversa, diminuendo quando essa diventa più negativa. In tal modo la tensione del segnale di griglia controlla la corrente fornita dall'alimentazione anodica.

Osservando la curva E_g-I_p riportata alla figura 1-**B**, è possibile notare come un segnale di ampiezza ridotta, presente sulla griglia, provochi variazioni nella corrente di placca che passa attraverso il carico. Come è illustrato, la batteria da 2 volt determina il punto di lavoro della valvola: questo punto viene scelto in modo che si trovi sul tratto rettilineo della curva caratteristica. La corrente anodica costante, corrispondente ad una tensione negativa costante della griglia di —2 volt, è di 3 milliampère: essa ammonta a tale valore quando la resistenza di carico è di 50.000 ohm. Ne consegue che la caduta di tensione ai capi del carico, in assenza di segnale ($V = I \times R$) è di 150 volt. Dal momento che la tensione di placca, E_p, presente tra la placca ed il catodo, corrisponde alla tensione di alimentazione E_b meno la caduta di tensione ai capi del carico, la tensione di placca risulta in $350 - 150 = 200$ volt.

Supponiamo ora che il generatore E_s produca una tensione alternata sinusoidale la cui ampiezza sia di 1 volt. In questo caso il potenziale di griglia assumerà tutti i valori intermedi e successivi tra —1 volt durante il semiperiodo positivo ($-2+1=-1$), e —3 volt durante il semiperiodo negativo ($-2-1=-3$).

Nel grafico riportato dalla figura 1-**B** si può notare che, in conseguenza delle variazioni della tensione di griglia, la corrente anodica sale a 4 milliampère quando detta tensione è di —1 volt, e scende a 2 milliampère quando la tensione di griglia è a —3 volt.

Quando il valore istantaneo della corrente di placca ammonta a 4 milliampère, la caduta di tensione *IR* ai capi del carico anodico equivale a 0,004 volte 50.000, ossia 200 volt; quindi, in quell'istante, E_p ha il valore di 150 volt. I valori istantanei della tensione di placca sono rappresentati dalla curva tratteggiata.

Quando invece, la corrente anodica scende al citato valore minimo di 2 milliampère, la caduta *IR* è pari a 0,002 volte 50.000, ossia 100 volt, per cui in quell'istante, E_p ammonta a 250 volt.

Possiamo rilevare ora che il potenziale di placca varia da 150 volt a 250 volt tra picco e picco. Ciò significa che la tensione alternata, sinusoidale, d'uscita (presente alla placca) ammonta a 50 volt. Dal momento che l'ampiezza del segnale applicato alla griglia ha un valore di picco di 1 volt, esso risulta amplificato 50 volte nel circuito di placca.

Si noti anche che il segnale d'uscita è sfasato di 180° rispetto a quello di entrata.

CLASSIFICAZIONE degli AMPLIFICATORI

A seconda della frequenza

Gli amplificatori possono essere classificati a seconda della gamma di frequenza con la quale devono funzionare. I due tipi principali, sotto questo punto di vista, sono quelli ad *audio frequenza* o Bassa Frequenza e a *radio frequenza* o Alta Frequenza. I primi sono progettati per amplificare segnali la cui frequenza varia da un minimo di circa 10 ad un massimo di circa 20.000 Hertz; i secondi invece amplificano segnali di frequenza superiore al limite massimo precedente, in quanto essi sono considerati segnali a radiofrequenza.

A seconda dell'impiego

Sotto il punto di vista del loro compito specifico, gli amplificatori si dividono in due gruppi: amplificatori *di tensione* e amplificatori di *potenza*. I primi aumentano l'ampiezza del segnale di ingresso, senza prendere in considerazione la potenza fornita al carico. La maggior parte di essi ha una resistenza di carico di valore elevato, il che permette lo sviluppo di notevoli differenze di po-

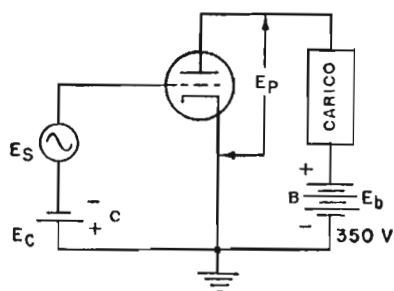



Fig. 1A — Circuito tipico di amplificatore a triodo. La batteria B fornisce la tensione anodica, mentre la batteria C fornisce la tensione di polarizzazione di griglia. Tutta la corrente anodica passa attraverso il carico.

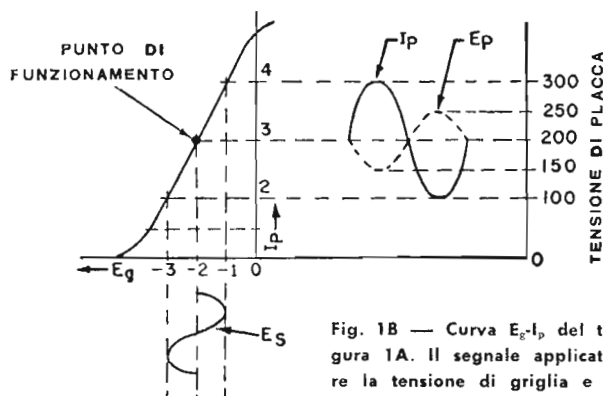



Fig. 1B — Curva E_g-I_p del triodo di figura 1A. Il segnale applicato fa variare la tensione di griglia e la corrente anodica nel tratto rettilineo della curva.

tenziale ai suoi capi. Gli amplificatori di potenza hanno invece il compito di erogare al carico una certa potenza, ed in essi il fattore di amplificazione della tensione diviene di minore importanza. La maggior parte degli amplificatori di potenza è provvista di un carico che presenta un'impedenza scelta con valore tale da ottenere o la massima potenza con la minima distorsione, o un **rendimento di placca** desiderato. Quest'ultimo **è il rapporto tra la potenza del segnale d'uscita, e la potenza di alimentazione in corrente continua** (vale a dire il prodotto tra corrente e tensione di placca). La potenza dissipata da una valvola, e prelevata dall'alimentazione anodica, è sempre superiore a quella resa sotto forma di segnale amplificato. La differenza tra detta potenza di entrata in alimentazione e la potenza d'uscita del segnale constituisce la perdita dissipata sotto forma di energia termica nella placca.

Poichè una valvola termoionica rende disponibile il segnale d'uscita ai capi del carico, *la massima potenza d'uscita è ottenibile quando l'impedenza di quest'ultimo è eguale a quella interna della sorgente*, ossia alla resistenza di placca della valvola stessa. Una resistenza di carico di valore inferiore a quello necessario, provoca una distorsione d'ampiezza del segnale d'uscita. A ciò si rimedia, nel caso del triodo, dando all'impedenza del carico un valore pari al doppio, o anche al triplo, di quello della resistenza di placca, R_p, della valvola. Il risultato di tale provvedimento è che, nonostante la perdita di una piccola parte di potenza, la distorsione di ampiezza è inferiore, perchè è tale quando l'impedenza di carico è più alta dell'impedenza della sorgente.

Nel caso del pentodo, il valore esatto dell'impedenza di carico è enunciato nel manuale delle caratteristiche fornito dal fabbricante, e, normalmente, corrisponde dalla decima alla ventesima parte della resistenza di placca, R_p, della valvola in questione.

A seconda della polarizzazione

Oltre alla classificazione in base alla frequenza ed all'impiego, tutti gli stadi di amplificazione mediante valvole termoioniche possono essere classificati in base alla tensione di polarizzazione applicata alla griglia, ossia in base alla frazione del ciclo a c.a. del segnale, durante la quale si ha passaggio della corrente anodica. Sotto tale aspetto gli amplificatori possono essere definiti di *classe A*, di *classe AB*, di *classe B* e di *classe C*.

RELAZIONE di FASE negli AMPLIFICATORI

Sappiamo che il segnale di griglia, e_g, è sempre in fase con la corrente anodica i_b. Due forme d'onda di eguale frequenza — abbiamo visto a suo tempo — vengono dette « in fase » allorchè passano attraverso punti corrispondenti nel medesimo istante; in altre parole, le curve raggiungono i valori di massimo positivo e di massimo negativo, come pure il valore zero, nel medesimo istante.

La **figura 2** illustra le relazioni di fase delle varie tensioni e correnti alternate in un triodo amplificatore. In questo circuito, e_g, e_c, ed i_b sono in fase tra loro, ma sono sfasate di 180° nei confronti della tensione di uscita e_u.

Supponiamo che il triodo illustrato alla figura 2 sia del tipo 6J5, funzionante con una tensione di polarizzazione di griglia pari a —8 volt, e con una tensione di alimentazione dell'anodo di 350 volt.

In condizioni di riposo (ossia in assenza di segnale) la corrente anodica, I_{bo}, ammonta a 5,2 mA; la tensione di placca, E_{bo}, è di 220 volt, ed R_c è di 25.000 ohm. Sempre in assenza di segnale, la caduta di tènsione che si manifesta ai capi della resistenza di carico, E_{co}, equivale ad E_b meno E_{bo}, ossia equivale a 350 meno 220, cioè 130 volt. Le varie tensioni e correnti che si presentano nel circuito del triodo sono illustrate graficamente alla **figura 3.** Tali forme d'onda vengono ottenute nel modo seguente: i punti *A, A1, A2, A3* ed *A4*, collegati da una linea tratteggiata verticale, rappresentano le condizioni che sussistono in assenza di segnale. La tensione del segnale è infatti pari a zero nel punto *A*, e nel punto *A1* si nota che la tensione negativa di griglia equivale a circa —8 volt che rappresenta il valore di E_g.

Nel medesimo tempo, la corrente di placca, I_{bo}, equivale a 5,2 mA nel punto *A2*. La caduta di tensione che si manifesta ai capi della resistenza di carico, equivale 130 volt nel punto *A3*. Infine è rappresentata la tensione di placca totale, E_{bo}, che equivale a 220 volt nel punto *A4*.

Allorchè la tensione del segnale di griglia raggiunge il suo massimo valore positivo nel punto *B*, la tensione totale di griglia, e_g, equivale a 0 volt, nel punto *B1*. La massima tensione del segnale presente sulla griglia fa in modo che la corrente anodica aumenti fino al valore massimo di 10,1 mA nel punto *B2*. Questo valore massimo della corrente fa sì che la caduta di tensione presente ai capi della resistenza di carico raggiunga il suo valore massimo di 252 volt, nel punto *B3*.

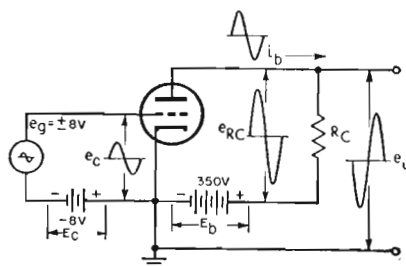
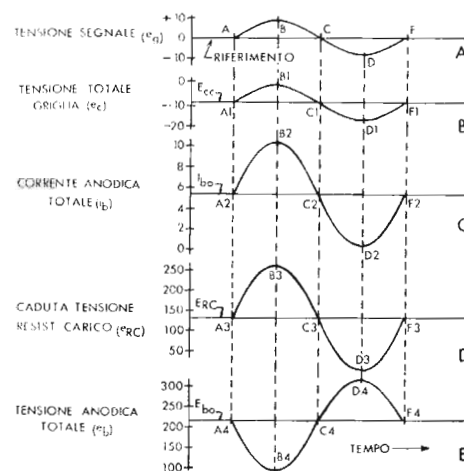



Fig. 2 — Relazioni di fase tra le tensioni e le correnti alternate in un amplificatore a triodo. Come si nota, il segnale di uscita è sfasato di 180° rispetto al segnale di ingresso applicato alla griglia.

Fig. 3 — Rappresentazione grafica delle varie tensioni e correnti di un amplificatore a triodo. Si noti che il segnale, e_c, i_b ed e_{RC} sono sempre in fase tra loro, mentre e_b (che rappresenta il segnale di uscita), è sfasato di 180°.

R_c, r_p, e la sorgente E_b costituiscono un circuito in serie. La somma delle cadute di tensione presenti ai capi di R_c ed r_p equivale alla tensione di alimentazione, E_b, erogata dalla sorgente stessa. Se la caduta di tensione presente ai capi di R_c aumenta, la caduta di tensione presente ai capi r_p deve diminuire. La tensione d'uscita, e_b, che sussiste tra placca e catodo, non è altro che la caduta di tensione che si presenta ai capi di r_p. Dal momento che la caduta di tensione ai capi di R_c ha il suo valore massimo, nel punto *B*, è ovvio che la tensione e_b abbia contemporaneamente il valore minimo. Ciò è illustrato nel punto *B4* che corrisponde a 98 volt.

In assenza di segnale, le medesime condizioni sussistono in corrispondenza dei punti *C*, *C1*, *C2*, *C3* e *C4*, come nei punti *A*, *A1*, *A2* ecc. precedentemente considerati. Quando e_g raggiunge il suo massimo valore negativo nel punto *D*, la tensione totale di griglia, e_g, ammonta a —16 volt nel punto *D1*.

Questo valore minimo della tensione di ingresso fa in modo che i_b raggiunga il suo valore minimo (1,3 mA nel punto *D2*). A sua volta, il minimo valore della corrente anodica fa in modo che e_{RC} assuma il valore minimo di 33 volt nel punto *D3*.

Dal momento che e_{RC} assume il valore minimo, la caduta di tensione presente ai capi di r_p ha il suo valore massimo, ed anche e_b assume il valore massimo (317 volt nel punto *D4*). Il punti *F*, *F1*, *F2*, *F3* ed *F4* sono riferiti sempre alle condizioni di assenza di segnale, ed hanno i medesimi valori numerici corrispondenti a *C*, *C1*, *C2*, ecc.

L'analisi che abbiamo or ora compiuto ci permette di notare che le forme d'onda illustrate in A, B, C e D sono in fase tra loro, ma sono sfasate di 180° rispetto alla forma d'onda illustrata in E. È quindi possibile dedurre la seguente conclusione: **il segnale presente sulla griglia controllo di una valvola è sempre in fase con la corrente anodica, ma è sempre sfasato di 180° rispetto alla tensione d'uscita di placca.** Tale regola sussiste per tutti i tipi di valvole, qualunque sia il numero delle griglie in esse contenute.

SISTEMI di POLARIZZAZIONE

In tutti i circuiti di amplificazione di cui ci siamo occupati fino ad ora, la tensione di polarizzazione veniva fornita da un'apposita batteria, che fungeva da sorgente della tensione E_g. Questo tipo di polarizzazione, noto come **polarizzazione fissa**, viene ricavato da una sorgente di tensione apposita. Nei normali circuiti di amplificazione esistono altri sistemi per ottenere questa tensione; il tipo di uso più comune è quello denominato **autopolarizzazione** (in inglese « self-bias »), secondo il quale la tensione di polarizzazione viene sviluppata ai capi di una resistenza, dalla valvola stessa. L'ammontare della caduta di tensione dipende dall'intensità della corrente anodica che attraversa la valvola, e quindi, indirettamente, dal segnale di griglia.

La polarizzazione **combinata** è — come dice la parola stessa — una combinazione dei due sistemi ora citati.

Polarizzazione fissa

La **figura 4-A** illustra un sistema per dare alla griglia una polarizzazione fissa. Come abbiamo affermato precedentemente, per « polarizzazione » si intende una tensione continua e costante presente tra griglia e catodo. Essa è normalmente negativa, e viene usata per stabilire il punto di funzionamento lungo la curva caratteristica della valvola. L'ammontare della tensione presente nel circuito illustrato è di —5 volt, ed è fornito dalla batteria.

In assenza di segnale non si manifesta alcuna corrente di griglia, in quanto essa è negativa rispetto al catodo. Ciò significa anche che il catodo è positivo di 5 volt rispetto alla griglia. La resistenza R_k fa parte di un circuito di accoppiamento relativo al segnale di ingresso. La tensione che si presenta tra griglia e massa equivale alla tensione di polarizzazione, sommata algebricamente alle tensioni istantanee del segnale. In questo caso, la polarizzazione è indipendente dal segnale di ingresso, e ciò si verifica sempre con il sistema della polarizzazione fissa.

Autopolarizzazione

Il metodo più comune per ottenere un'autopolarizzazione, è quello della polarizzazione « catodica » (figura 4-**B**). In questo circuito la tensione di polarizzazione si sviluppa ai capi della resistenza presente in serie al catodo.

In assenza di segnale sulla griglia, la corrente anodica, i_b, scorre ininterrottamente tra catodo e placca, e quindi tra placca e catodo attraverso la parte esterna del circuito. Dal momento che detta corrente anodica scorre da *A* a *B*, il punto *A* è negativo rispetto al punto *B*. Supponiamo ora che la caduta di tensione ai capi di R_k sia di 5 volt. Ciò rende il catodo positivo di 5 volt rispetto a

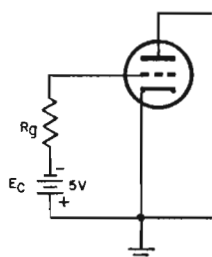



Fig. 4A — Polarizzazione fissa mediante una batteria in serie al circuito di griglia.

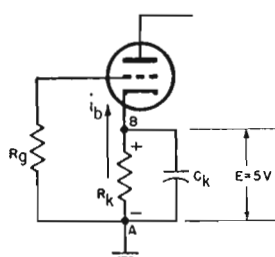



Fig. 4B — Sistema di autopolarizzazione catodica, ottenuta inserendo una resistenza di valore adatto tra catodo e massa.

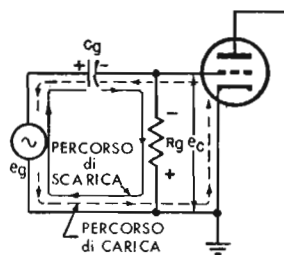



Fig. 4C — Autopolarizzazione per dispersione di griglia. La tensione necessaria si sviluppa ai capi di R_g solo quando il segnale è presente.

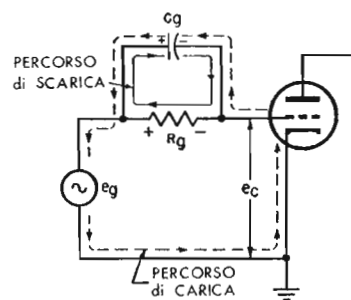



Fig. 4D — Altro circuito di autopolarizzazione per dispersione di griglia simile al precedente. Quì la corrente di scarica passa soltanto attraverso la resistenza R_g.

massa. La griglia è collegata (attraverso R_g) al punto A, negativo rispetto al catodo, per cui viene ad avere anch'essa un potenziale di —5 volt rispetto al catodo. Infatti, essendo il potenziale negativo, la griglia non assorbe elettroni; di conseguenza, non essendovi corrente di griglia, nessuna caduta di tensione può avere luogo attraverso R_g.

Come si è detto precedentemente, R_g fa parte di un circuito attraverso il quale il segnale di ingresso viene applicato alla griglia. Ora, se ai capi di R_g viene applicato un segnale alternato ad andamento sinusoidale, esso determina variazioni nella corrente anodica anch'esse sinusoidali, attorno ad un valore medio. La corrente anodica variabile scorre attraverso R_k.

Dal momento che la polarizzazione che si desidera ottenere deve essere una tensione fissa, la componente alternata della corrente di placca attraverso R_k deve essere eliminata. A ciò provvede il condensatore C_k. Il suo valore deve essere tale che la sua reattanza capacitiva risulti trascurabile nei confronti del valore ohmico di R_k, per la frequenza del segnale d'ingresso. Tale basso valore di reattanza capacitiva costituisce praticamente un cortocircuito (viene detto **condensatore di fuga**) verso massa, nei confronti della componente alternata presente ai capi di R_k. Ne deriva che la caduta ai capi di R_k non varia, ed il potenziale di griglia rimane fisso a —5 volt.

Il valore di C_k negli stadi di amplificazione di Bassa Frequenza è, generalmente, compreso tra 10 e 50 µF. Per contro, negli stadi di amplificazione di Alta Frequenza, esso è notevolmente inferiore, e ciò proprio per il fatto che le frequenze in gioco sono più elevate. Il valore ohmico di R_k è di solito tra 250 e 3.000 ohm. R_k può essere calcolata mediante la legge di Ohm, se si conosce la tensione di polarizzazione da ottenere, e il valore della corrente anodica. Ad esempio: supponiamo che la corrente anodica media sia di 10 mA, e si desideri ottenere una polarizzazione pari a —5 volt. In tal caso (legge di Ohm) abbiamo: $R_k = E_g : I_{bo} = 5 : 0{,}01 = 500$ ohm.

Un altro sistema di « autopolarizzazione » è quello detto « per dispersione di griglia » (figura 4-C). La capacità nel circuito di griglia, C_g, è di valore abbastanza elevato a chè la sua reattanza capacitiva sia, alla frequenza del segnale d'ingresso, bassa nei confronti del valore ohmico di R_g. Quest'ultima è di valore elevato.

La tensione e_g, che si manifesta ai capi di R_g, è composta dalla tensione del segnale di griglia sommato alla tensione di polarizzazione E_g.

Allorchè nessun segnale viene applicato al circuito, la differenza di potenziale tra griglia e catodo è zero. Di conseguenza, la tensione di polarizzazione può essere presente solo quando vi è un segnale di ingresso. Quest'ultimo appare ai capi di R_g, in quanto il basso valore di reattanza capacitiva di C_g rende tale condensatore virtualmente pari ad un cortocircuito nei confronti del segnale di griglia. Detto segnale, ad andamento sinusoidale, rende la griglia alternativamente positiva e negativa rispetto al catodo.

Durante i semiperiodi positivi, la griglia viene ad assumere un potenziale positivo, per cui assorbe corrente. Quest'ultima determina una caduta di tensione ai capi di R_g, e tale tensione carica la capacità C_g fino al valore di picco della tensione del segnale. L'elettrodo del condensatore collegato alla griglia diventa allora negativo. Il percorso di questa carica avviene attraverso la valvola ed è indicato nella figura da una linea tratteggiata. Durante i semiperiodi negativi — invece — la griglia diventa negativa rispetto al catodo: C_g si scarica in parte attraverso R_g, (in parte, in quanto il valore di quest'ultima è elevato). Il percorso della corrente di scarica è indicato in tratto continuo. Il terminale superiore di R_g diventa negativo rispetto a quello inferiore, ossia rispetto a massa. Durante il semiperiodo positivo successivo del segnale di griglia, C_g riacquista la carica perduta, ricaricandosi ancora una volta fino al valore di picco della tensione del segnale.

La scarica di C_g attraverso R_g dà luogo ad una corrente continua pulsante, la quale — a sua volta — produce una tensione continua pulsante. Il valore medio di quest'ultima costituisce la tensione di polarizzazione.

Un secondo sistema di polarizzazione per dispersione di griglia è illustrato alla figura 4-**D**. In tal caso R_g è collegata direttamente in parallelo a C_g, ed il funzionamento è analogo a quello ora illustrato. L'unica differenza risiede nel diverso percorso della corrente di scarica della capacità che passa soltanto attraverso R_g: esso è indicato nella figura con tratto continuo.

Polarizzazione per potenziale di contatto

Il circuito che consente di ottenere una polarizzazione con questo sistema è simile ai due ora descritti: tuttavia, la tensione polarizzante non viene determinata dal segnale. Con questo sistema R_g è caratterizzata da un va-

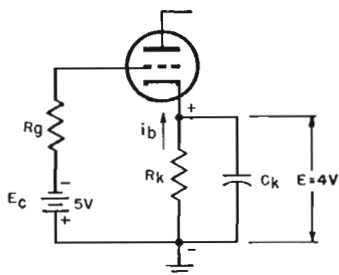



Fig. 5A — Sistema di polarizzazione combinata. La tensione desiderata è fornita in parte dalla batteria, ed in parte dalla caduta ai capi della resistenza di catodo.

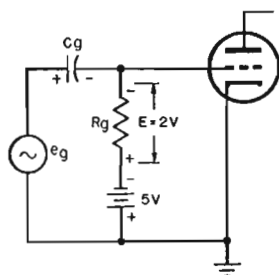



Fig. 5B — Altro sistema di polarizzazione combinata. La tensione viene fornita dalla batteria e dal segnale.

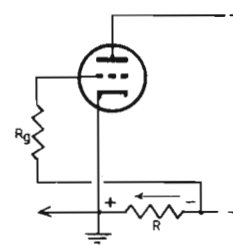



Fig. 6 — Polarizzazione fissa mediante una resistenza in serie al lato negativo dell'alimentazione. R_g fa capo al terminale di R più negativo che non quello a massa.

lore elevato, (dell'ordine di 10 Megaohm). In assenza di segnale sulla griglia, si forma una carica spaziale intorno al catodo. Dal momento che gli elettroni che la costituiscono sono negativi rispetto alla griglia, viene a crearsi una differenza di potenziale tra la griglia e la carica spaziale stessa. Tale d.d.p. determina, attraverso R_g, il passaggio di una debole corrente di griglia. Dato l'elevato valore di detta resistenza, questa corrente, anche se assai debole, provoca una certa caduta di tensione ai suoi capi, che costituisce la tensione di polarizzazione.

Polarizzazione combinata

Un altro tipo ancora di polarizzazione consiste nella polarizzazione combinata (**figura** 5), che riunisce le caratteristiche della polarizzazione fissa e di quella automatica. Nella sezione **A** della figura, la prima ammonta quindi a —5 volt, e la seconda (catodica) a —4 volt. La tensione totale ammonta quindi a —9 volt. Nella sezione **B** invece, la polarizzazione fissa ammonta a —5 volt, e l'autopolarizzazione (per corrente di griglia), ammonta a 2 volt. La tensione totale è quindi di —7 volt.

Il circuito della **figura 6** illustra infine un ultimo sistema. La resistenza di griglia, R_g, fa capo al terminale di una resistenza in serie all'alimentazione anodica (*R*), in corrispondenza del quale il potenziale equivale al massimo negativo. L'altro terminale, al quale fa capo il catodo, è invece leggermente più positivo, per cui la griglia viene ad essere negativa rispetto al catodo.

Il calcolo della resistenza da inserire sul lato negativo dell'alimentazione anodica viene effettuato, in questo caso, tenendo conto non solo della corrente anodica della valvola da polarizzare, ma anche di quella di tutti gli altri circuiti eventualmente alimentati dalla medesima sorgente: ciò perchè tutta la corrente anodica in gioco passa attraverso detta resistenza.

CLASSE degli AMPLIFICATORI

Amplificazione in classe A — Se la griglia di una valvola amplificatrice è polarizzata in modo che la corrente anodica scorra durante l'intero ciclo a c.a. del segnale, lo stadio prende il nome di « amplificatore in classe A ». Il funzionamento di una valvola in classe A è illustrato dalla curva caratteristica E_g-I_p della figura 1-B, nella quale è evidente che la corrente di placca è presente, sia durante il semiperiodo positivo del segnale applicato alla griglia, che durante quello negativo.

Il funzionamento della valvola in classe A viene scelto quando si desidera che l'andamento delle variazioni della corrente anodica sia un'esatta riproduzione, amplificata, della forma d'onda del segnale entrante in griglia. Da ciò deriva che la griglia deve essere polarizzata in modo tale da consentire alla valvola il funzionamento lungo il tratto rettilineo della sua curva E_g-I_p.

In questa classe si ha distorsione allorchè la polarizzazione non è corretta, oppure quando l'ampiezza del segnale applicato è eccessiva. La **figura 7-A** illustra la distorsione derivante da errata polarizzazione. Detta distorsione ha luogo in quanto la valvola funziona, in parte, lungo un tratto non lineare della curva caratteristica. Nella sezione **B** della figura 7 è illustrato il caso di distorsione per segnale eccessivo. Il segnale troppo ampio fa sì che la griglia assorba corrente durante i semiperiodi positivi, e interdica la corrente anodica durante i semiperiodi negativi. Naturalmente, ciò avviene solo per i valori opposti di picco del segnale stesso. Quando la griglia assume un potenziale positivo rispetto al catodo, la corrente di griglia che si forma viene fornita dallo stadio pilota, ossia dallo stadio precedente. Dal momento che esso, in linea di massima, non è in grado di fornire detta corrente, si verifica la cosiddetta « limitazione di griglia ». Il risultato è che parte del segnale di ingresso è dissipata nell'impedenza di pilotaggio, ed i picchi positivi vengono, di conseguenza, distorti.

Gli amplificatori in classe A sono caratterizzati da bassa distorsione, da bassa potenza di uscita, e da basso rendimento di placca (variabile dal 20 al 35 per cento).

Gli amplificatori di tensione vengono fatti funzionare generalmente in classe A.

Amplificazione in classe B — Se la griglia controllo di una valvola amplificatrice è polarizzata al valore di interdizione, in modo che la corrente anodica scorra soltanto durante i semiperiodi positivi del segnale a c.a. applicato, si dice che la valvola funziona come amplificatrice in classe B.

Tale sistema di amplificazione è illustrato alla **figura 8.** È facile notare che la corrente di placca in un amplificatore in classe B scorre solamente durante i semiperiodi positivi del segnale c.a. applicato alla griglia. Di conseguenza, l'andamento delle variazioni della corrente anodica (forma d'onda) non riproduce la forma d'onda della tensione di griglia. La valvola funziona come una rettifi-

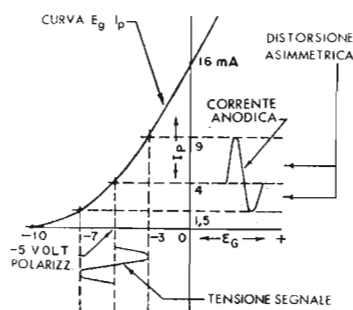



Fig. 7A — Distorsione provocata da errata polarizzazione. La valvola funziona, in tal caso, lungo un tratto non rettilineo della curva.

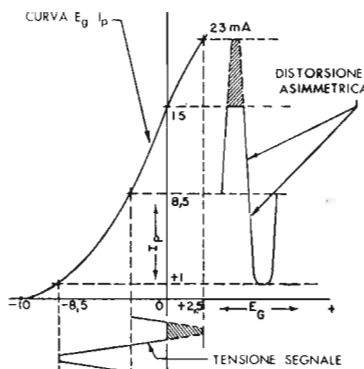



Fig. 7B — Distorsione per segnale eccessivo.

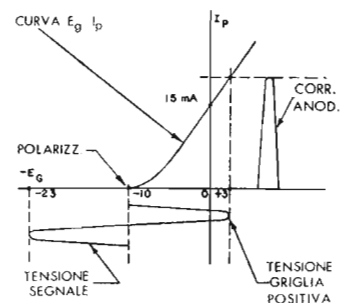



Fig. 8 — Curva di amplificazione in classe B. I_p scorre soltanto durante i semiperiodi positivi del segnale di ingresso.

catrice di una semionda.

Il segnale applicato alla griglia di una valvola amplificatrice in classe B è normalmente di valore molto più elevato in ampiezza di quello applicato nel caso di amplificazione in classe A. L'ampiezza è tale che la griglia assume un potenziale positivo rispetto al catodo, per cui si ha corrente di griglia.

Questo sistema di amplificazione è tra quelli usati negli amplificatori a Bassa Frequenza di potenza, in quanto permette un rendimento variabile dal 50 al 60%. Tale rendimento è possibile grazie al fatto che, in assenza de segnale di ingresso, non si ha corrente di placca e quindi non si ha dissipazione anodica. Ciò significa che, in confronto alla classe A, si ottiene minore dissipazione di placca e maggiore potenza d'uscita per una data potenza di entrata. La classe B viene impiegata perciò quando si desidera sviluppare una potenza d'uscita relativamente alta nel circuito di carico.

Quando si amplifica un segnale di frequenza acustica, si desidera una amplificazione scevra da distorsioni. Allo scopo di evitare l'alto tasso di distorsione presente all'uscita di una singola valvola funzionante in classe B, si usano due valvole funzionanti in fase opposta ossia in controfase (« push-pull »). Il funzionamento di questo circuito verrà dettagliatamente descritto più avanti, in questa stessa lezione.

Amplificazione in classe AB — È possibile realizzare un compromesso tra la bassa distorsione con basso rendimento dell'amplificazione in classe A, e l'alto rendimento con alta distorsione della amplificazione in classe B. Tale compromesso consiste nel polarizzare le griglie in modo tale che il funzionamento avvenga in un punto intermedio tra quello caratteristico delle due classi, ossia, le valvole sono polarizzate notevolmente, ma non fino al punto di interdizione. Ciò è noto come funzionamento in classe AB.

Se il segnale a c.a. applicato alle griglie viene mantenuto ad una ampiezza abbastanza piccola da impedire la presenza della corrente di griglia, il funzionamento avvene in condizioni dette di classe AB_1. Se il segnale è abbastanza ampio da causare la presenza di una corrente di griglia durante i picchi positivi, il funzionamento è detto in classe AB_2.

Amplificazione in classe C — Se la tensione di polarizzazione di griglia di uno stadio amplificatore è notevolmente più alta del valore di interdizione, la valvola funziona come amplificatrice in classe C. Il funzionamento in tali condizioni è illustrato alla **figura 9.** Si può notare in essa che la polarizzazione è di 20 volt, ossia pari al doppio del potenziale di interdizione. In questo caso la corrente di placca scorre soltanto durante la parte del semiperiodo positivo del segnale alternato di ingresso, nella quale la tensione è più alta del valore di polarizzazione di interdizione. In altre parole, la corrente anodica è presente soltanto durante i picchi dei semiperiodi positivi del segnale entrante.

La curva dimostra che l'ampiezza del segnale deve essere notevolmente maggiore della tensione di polarizzazione della corrente anodica.

Quasi tutti gli stadi amplificatori di potenza ad Alta Frequenza nei radio trasmettitori funzionano in classe C. I circuiti sintonizzati in parallelo usati come carichi di placca in tali amplificatori, convertono la forma d'onda pulsante della tensione d'uscita in una forma sinusoidale, grazie all'effetto « volano ».

Il funzionamento in classe C permette un alto rendimento, variabile dal 70 all'85 per cento. L'efficienza è è così alta in quanto la corrente anodica scorre soltanto durante una piccola parte di ogni ciclo. Gli amplificatori in classe C non vengono mai usati per amplificazione a Bassa Frequenza, data la forte distorsione presente all'uscita.

DISTORSIONE

La distorsione negli amplificatori può essere di tre tipi differenti: distorsione *di ampiezza, di frequenza* e *di fase.*

La distorsione di ampiezza è causata dal funzionamento lungo il tratto non lineare della curva caratteristica, come è illustrato nelle figure 5 e 6. Negli amplificatori a Bassa Frequenza, la polarizzazione per il funzionamento in classe A deve essere tenuta entro un valore della curva caratteristica E_g-I_p tale che la tensione del segnale faccia variare la tensione di griglia soltanto lungo il tratto rettilineo della curva.

La distorsione di frequenza si ha quando non tutte le frequenze del segnale di ingresso risultano egualmente amplificate all'uscita dell'amplificatore. Tale tipo di distorsione può essere corretto mediante l'uso di componenti di valore appropriato, e mediante una progettazione corretta dell'intero circuito.

La distorsione di fase, infine, si verifica quando i rap-

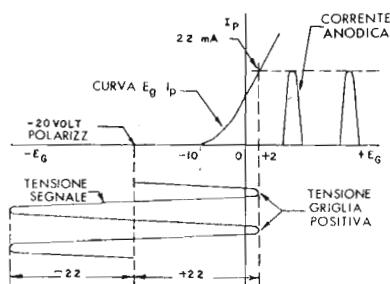



Fig. 9 — Curva di amplificazione in classe C. La corrente anodica scorre solo durante i picchi dei semiperiodi positivi del segnale entrante.

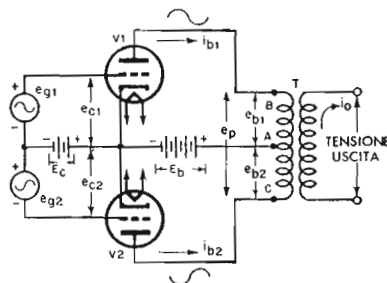



Fig. 10 — Circuito di amplificazione in controfase. I segnali delle due placche sono di fase opposta, e si integrano nel primario di T.

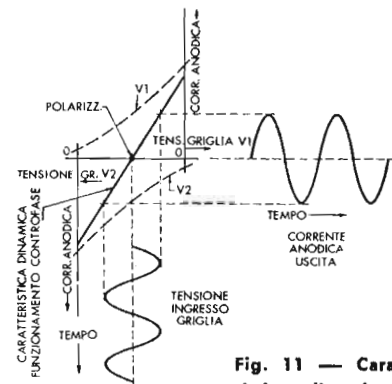



Fig. 11 — Caratteristica dinamica di due valvole funzionanti in controfase.

porti di fase delle varie frequenze contenute nel segnale di ingresso sono spostati in modo tale che la forma d'onda presente in uscita risulta diversa da quella di entrata, sebbene l'amplificazione in ampiezza avvenga in egual misura per tutte le frequenze.

Le distorsioni di frequenza e di fase diventano molto pronunciate negli amplificatori a Bassa Frequenza, all'estremità più alta ed a quella più bassa della gamma di frequenza, e ciò è dovuto al fatto che i componenti del circuito si comportano da « shunt » per il carico nei confronti delle frequenze più alte, e da resistenze in serie con elevata impedenza, e quindi con una certa attenuazione, nei confronti delle frequenze più basse.

Tutto ciò valga come semplice premessa, in quanto la distorsione sarà oggetto di una dettagliata lezione futura.

FUNZIONAMENTO di uno STADIO in CONTROFASE

Uno stadio di amplificazione in controfase (in inglese « push-pull ») consiste in due valvole i cui segnali di griglia e di placca sono reciprocamente sfasati di 180°. Esse possono funzionare in classe A, AB, oppure B. I circuiti di questo tipo sono usati frequentemente negli amplificatori di Bassa Frequenza, poichè consentono distorsione minore nei confronti di quelli costituiti da una sola valvola, maggiore potenza d'uscita e maggior rendimento.

La **figura 10** illustra il circuito di un amplificatore « push-pull » a triodi. Le sezioni superiori ed inferiori del circuito sono eguali. I triodi *V1* e *V2* sono del medesimo tipo, per cui hanno caratteristiche simili. I due segnali di griglia, e_{g1} ed e_{g2}, hanno la medesima ampiezza e frequenza, ma sono reciprocamente sfasati di 180°. A fornire alle due valvole le tensioni di polarizzazione e anodica, provvedono due distinte batterie. Il trasformatore *T* agisce da carico nei confronti del circuito. Il primario è provvisto di presa centrale (punto *A*) in modo che le tensioni di uscita, e_{b1} ed e_{b2}, abbiano la medesima ampiezza. Le correnti anodiche i_{b1} ed i_{b2} sono anche di eguale intensità.

I simboli che rappresentano le varie tensioni e correnti sono simili a quelli usati nei confronti di un circuito costituito da un semplice triodo. L'esponente al piede « 1 » viene usato per indicare la tensione o la corrente riferita alla valvola *V1*. Analogamente, l'esponente « 2 » indica la tensione o la corrente riferita alla valvola *V2*. Ad esempio, e_{g1} è il valore istantaneo della tensione del segnale di griglia applicato a *V1*; i_{b2} è il valore istantaneo della corrente anodica che scorre nel circuito di placca di *V2*, e così via. La tensione istantanea presente ai capi dell'intero avvolgimento primario è e_p. Il valore istantaneo della corrente che circola nel secondario è i_o.

Allorchè nessun segnale è applicato all'ingresso del circuito a « push-pull » la corrente che circola nel secondario del trasformatore *T*, ossia i_o, è pari a zero. Dal momento che la componente continua della corrente anodica non induce alcuna tensione nel secondario, la corrente secondaria è appunto zero. La corrente continua di placca della valvola *V1* scorre — come è ben noto — dal catodo alla placca, attraverso la metà superiore dell'avvolgimento primario (dal punto *B* al punto *A*), dopo di che ritorna al catodo. La corrente anodica di *V2* scorre anch'essa dal catodo alla placca, percorre la metà inferiore del primario di *T* (dal punto *C* al punto *A*), e torna quindi al catodo.

I punti *B* e *C* hanno un potenziale negativo eguale nei confronti del punto *A* in quanto le intensità delle correnti di placca sono eguali. I campi magnetici relativi si neutralizzano a vicenda evitando la saturazione del nucleo.

Allorchè due segnali alternati sinusoidali, e_{g1} ed e_{g2}, vengono applicati alle rispettive griglie, nel primario del trasformatore *T* scorrono due correnti anodiche sinusoidali, i_{b1} ed i_{b2}. La prima di esse è sfasata di 180° nei confronti della seconda, e ciò perchè i segnali alle due griglie hanno, anch'essi, 180° di sfasamento.

Durante l'alternanza positiva di i_{b1}, il punto *B* del primario diventa più negativo nei confronti di *A*. Nello stesso tempo, la caduta di i_{b2} fa sì che il punto *C* diventi — nei confronti di *A* — meno negativo, di un eguale ammontare. Possiamo dedurre che la tensione presente ai capi dell'intero primario, e_p, corrisponde a due volte il valore sia di e_{b1} che di e_{b2}. In altre parole, si ha che: $e_p = e_{b1} + e_{b2}$.

Durante il semiperiodo successivo, tutte le polarità si invertono. La relazione or ora espressa sarà ancora valida e, in effetti, risulta valida per tutti i valori istantanei della corrente di placca.

Il trasformatore *T* accoppia l'uscita dell'amplificatore a « push-pull » ad un altro circuito.

Uno dei metodi di uso comune per ottenere uno sfasamento di 180° tra i due segnali di ingresso da applicare alle griglie di *V1* e *V2* è quello « a trasformatore ». Consiste nell'impiego di un trasformatore il cui primario è collegato alla sorgente del segnale. Quest'ultima può es-

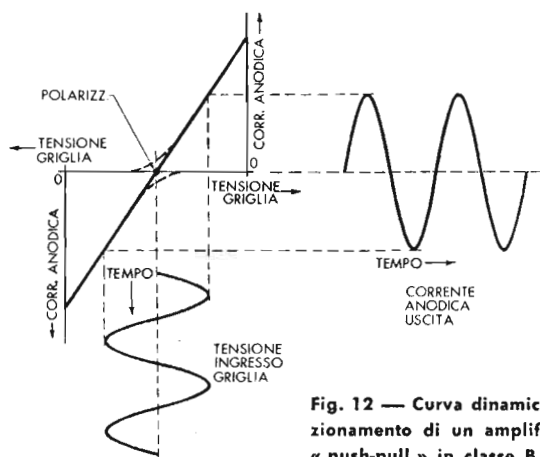



Fig. 12 — Curva dinamica di funzionamento di un amplificatore a « push-pull » in classe B.

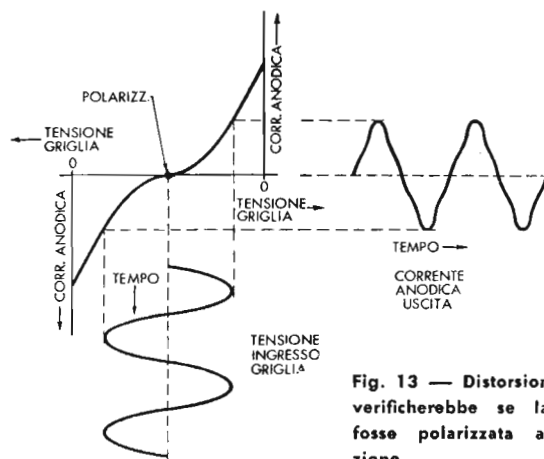



Fig. 13 — Distorsione che si verificherebbe se la griglia fosse polarizzata all'interdizione.

sere sia una valvola che costituisce uno stadio precedente di amplificazione, come qualsiasi altra fonte. Il secondario è provvisto di una presa centrale, e le estremità dell'avvolgimento sono collegate rispettivamente alle griglie di *V1* e *V2*. La presa centrale è collegata al lato negativo della sorgente di tensione di polarizzazione.

Allorchè ai capi del primario viene applicata una tensione alternata sinusoidale, ai capi del secondario si manifestano due tensioni sinusoidali. Esse sono sfasate reciprocamente di 180° grazie alla presenza della presa centrale. Infatti, tale presa costituisce — come è noto — il punto neutro durante qualsiasi istante di ogni alternanza. Di conseguenza, mentre una delle estremità presenta la massima tensione positiva, l'estremità opposta presenta la massima tensione negativa, e viceversa.

Caratteristiche dinamiche per il funzionamento in controfase

La caratteristica dinamica relativa a due valvole funzionanti in controfase, viene dedotta dalle caratteristiche dinamiche individuali delle valvole. La **figura 11** illustra una caratteristica dinamica di due valvole funzionanti in controfase ed in classe A. Viene ricavata nel modo seguente: la curva tratteggiata, contrassegnata *V1*, rappresenta la caratteristica dinamica di una valvola, e la curva tratteggiata *V2* rappresenta la caratteristica dinamica dell'altra. Tali caratteristiche sono tra loro identiche; dal momento che le correnti anodiche delle due valvole sono sfasate di 180°, esse sono rappresentate con tale sfasamento, e in modo che l'asse orizzontale del grafico sia comune ad entrambe.

Le curve sono, inoltre, allineate verticalmente, in modo che il punto corrispondente alla tensione di polarizzazione di una delle valvole (punto di lavoro) si trovi in coincidenza a quello relativo all'altra valvola.

Ad esempio, se $E_g = -5$ volt, questo valore di tensione si verifica nel medesimo punto su entrambi gli assi della tensione di griglia. La caratteristica dinamica risultante si ha sommando algebricamente i valori istantanei della corrente di placca, corrispondenti ai diversi valori della tensione del segnale di griglia.

In uno stadio di amplificazione singolo, funzionante in classe A, ha luogo una distorsione lieve nella forma d'onda della corrente anodica, perchè il segnale di griglia lavora lungo il tratto più lineare della caratteristica dinamica. Nel caso del funzionamento in controfase, detta distorsione è ancora minore, grazie al fatto che la caratteristica dinamica è ancora più lineare.

Se si proiettano vari punti del segnale di ingresso sulle curve della caratteristica dinamica (come illustrato dalle linee verticali ed orizzontali tratteggiate nella figura) si ottiene la forma d'onda della corrente che circola nel circuito d'uscita.

Una delle caratteristiche più salienti dello stadio in controfase consiste nel fatto che è possibile applicare variazioni maggiori della tensione di griglia, senza peraltro causare distorsione apprezzabile. Il motivo di ciò sta nel fatto che la caratteristica dinamica resta lineare per una variazione maggiore di tensione. È ovvio che, se è possibile applicare variazioni di tensione del segnale di maggiore entità, si ottiene anche una potenza d'uscita maggiore. Il rendimento di uno stadio di amplificazione in controfase funzionante in classe A può raggiungere il 30%, per contro, nel funzionamento con una sola valvola, il rendimento non supera il 20%.

Il funzionamento in controfase in classe AB, è altrettanto possibile e frequente. La caratteristica dinamica risultante viene ottenuta in modo analogo a quello illustrato alla figura 11. Il vantaggio principale del funzionamento in classe AB nei confronti di quello in classe A consiste nel fatto che le variazioni consentite nella tensione di griglia sono ancora maggiori, in quanto la curva caratteristica risultante ha una lunghezza maggiore. Ciò consente una potenza d'uscita più elevata, ed un rendimento migliore, (raggiunge infatti il 55%).

La **figura 12** illustra la caratteristica risultante, di uno stadio di amplificazione in controfase funzionante in classe B. La tensione di polarizzazione è — in questo caso — molto più prossima al valore di interdizione della corrente anodica che non nel caso del funzionamento in classe AB. La forma d'onda della corrente anodica è praticamente priva di distorsione.

Si noti che l'ammontare della polarizzazione non è esattamente del valore necessario per portare la corrente anodica all'interdizione. Se si adottasse detto valore, si verificherebbe una certa distorsione (**figura 13**). In questo caso, la caratteristica dinamica risultante sarebbe caratterizzata da una forma ad S, e determinerebbe una notevole distorsione della forma d'onda della corrente di placca. Nel funzionamento in classe B, il rendimento di placca può raggiungere il 60 ed anche il 65%.

IL VOLTMETRO a VALVOLA

IL PRINCIPIO di FUNZIONAMENTO del VOLTMETRO a VALVOLA

Il voltmetro a valvola, noto anche col nome di voltmetro elettronico, è un apparecchio atto alla misura di tensioni a corrente alternata ed a corrente continua, costituito da una o più valvole termoioniche, collegate in un circuito contenente uno strumento indicatore.

La tensione di alimentazione necessaria per il funzionamento delle valvole viene ricavata, solitamente, da un alimentatore incorporato nell'apparecchiatura, che trasforma e rettifica opportunamente la tensione alternata di rete; in certi casi, tale tensione di alimentazione è fornita da batterie contenute nello strumento stesso.

Allo scopo di poter misurare tensioni molto elevate a corrente continua e tensioni a corrente alternata entro una vasta gamma di frequenza, si ricorre all'uso di tipi speciali di puntali detti **sonde** (in inglese: « probe ») del cui impiego e del cui funzionamento diremo più avanti.

La caratteristica più saliente del voltmetro elettronico nei confronti degli altri voltmetri, consiste nel fatto che esso permette la misura delle tensioni senza per altro costituire praticamente carico nei riguardi del circuito sotto misura. Le normali condizioni di funzionamento dell'apparecchiatura restano pressochè invariate, in quanto la corrente assorbita dal voltmetro a valvola per effettuare la misura è di entità del tutto trascurabile. Tale prerogativa si dimostra ovviamente vantaggiosa in modo particolare nel controllo dei circuiti funzionanti con deboli correnti, nei quali l'uso di un voltmetro del tipo convenzionale provocherebbe, per il suo carico, delle variazioni nelle condizioni di funzionamento e, per conseguenza, porterebbe a letture errate.

Il voltmetro a valvola può essere utilizzato per la misura di tensioni a c.a. in una gamma di frequenza che si estende da 5 o 10 Hertz a diverse centinaia di Megahertz. Esistono strumenti di questo tipo, di progettazione particolare, aventi una frequenza massima di funzionamento pari a diverse migliaia di Megahertz; servono particolarmente per il controllo delle apparecchiature impiegate nel campo delle frequenze molto elevate.

Il voltmetro elettronico si rende utile per misurare basse tensioni in circuiti ad alta impedenza: l'impedenza di ingresso dello strumento ha, infatti, quasi sempre un valore di 10 o più Megaohm. Dato ciò, l'assorbimento di corrente da parte del circuito di ingresso del voltmetro è del tutto trascurabile allorchè viene collegato in parallelo al circuito sotto prova: la misura di tensioni basse può essere effettuata perciò con notevole precisione. Come si è detto, i voltmetri di tipo convenzionale presentano un'impedenza di ingresso notevolmente inferiore, specialmente nelle portate basse, per cui costituiscono un carico che assorbe una determinata quantità di corrente: da qui l'errore di lettura.

VOLTMETRO a VALVOLA BASILARE per C. C.

Il tipo più semplice di voltmetro a valvola consiste in un diodo, un milliamperometro per corrente continua ed una resistenza di carico collegata in serie alla tensione da misurare, come è illustrato nella **figura 1.** Allorchè ai terminali di ingresso viene applicata una tensione di valore incognito, E_x, avente la polarità appropriata, la placca del diodo assume un potenziale positivo nei confronti del catodo, per cui si ha un passaggio di corrente attraverso l'intero circuito. Tale flusso di corrente, essendo direttamente proporzionale alla tensione applicata, provoca una corrispondente deviazione da parte dell'indice dello strumento.

Dal momento che l'impedenza di ingresso di un circuito con diodo in serie è relativamente bassa, si ricorre all'uso di una resistenza di carico onde aumentare il valore e rendere minima l'influenza del carico applicato al circuito sotto prova. Tuttavia, se detta resistenza è abbastanza grande da corrispondere al valore di impedenza richiesto, si rende necessario impiegare un microamperometro molto sensibile onde ottenere spostamenti apprezzabili dell'indice in considerazione anche dell'intensità molto limitata della corrente che circola. Per questo motivo, il valore della resistenza di carico deve essere un compromesso tra l'impedenza più adatta e la quantità di corrente che deve scorrere affinchè la deviazione dell'indice sia tale da permettere una lettura. Questo problema viene facilmente risolto usando un triodo al posto del diodo.

Il circuito semplificato di un voltmetro elettronico è illustrato alla **figura 2-A**, e consiste in un triodo, in una sorgente di tensione anodica, in una seconda sorgente di energia che fornisce la tensione necessaria per la polarizzazione di griglia, ed in un milliamperometro per c.c. tarato in modo tale da permettere la lettura diretta delle tensioni applicate tra la griglia ed il catodo della valvola. La polarizzazione negativa di 5 volt applicata alla valvola fa coincidere il punto di funzionamento con quello di interdizione, come appare evidente nella curva caratteristica (figura 2-**B**) che espone l'andamento della corrente di placca in funzione della tensione di griglia. Se

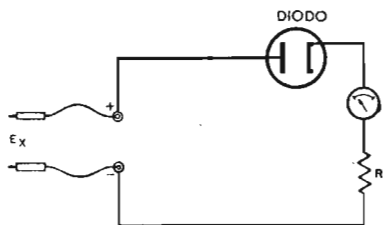



Fig. 1 — Circuito elementare di un voltmetro a valvola. Esso è del tutto simile a quelli dei comuni « tester ». La sola differenza risiede nel fatto che la rettificazione avviene ad opera di un diodo, e, in questo caso, su una sola semionda.

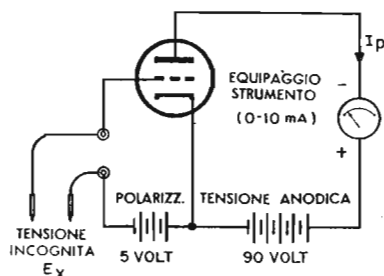



Fig. 2A — Voltmetro elettronico impiegante un triodo che funziona in classe B. La griglia è polarizzata all'interdizione, ed I_p esiste quando alla griglia viene applicato una tensione positiva.

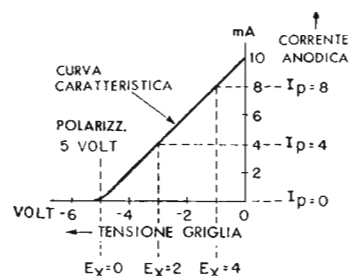



Fig. 2B — Grafico illustrante il funzionamento del circuito di figura 2A. I_p si manifesta soltanto quando la tensione da misurare E_x è positiva.

nessuna tensione viene applicata alla griglia della valvola non si ha corrente anodica, per cui l'indice dello strumento resta in posizione di zero. Non appena ai terminali di ingresso viene applicata una differenza di potenziale in modo tale che la griglia assuma una tensione meno negativa, si manifesta immediatamente la presenza di una corrente anodica che provoca lo spostamento dell'indice del milliamperometro.

Dal momento che la tensione applicata, E_x, determina il funzionamento della valvola lungo il tratto rettilineo della curva caratteristica, l'aumento della corrente di placca è direttamente proporzionale. Ad esempio, se al circuito di ingresso dello strumento si applica una tensione, E_x pari a +2 volt, la tensione di polarizzazione della griglia si riduce a —5+2 volt = —3 volt, per cui si ha una corrente anodica di 4 milliampère nel circuito di placca, e l'indice dello strumento subisce una deviazione proporzionale a tale corrente. Ciò è illustrato dalla figura 2-B mediante le linee tratteggiate orizzontali e verticali, le quali incontrano la curva caratteristica della valvola nei punti indicati. Quando E_x è eguale a +4 volt, I_p è eguale a 8 milliampère; i valori intermedi di tensione possono essere determinati mediante la curva caratteristica, per valori di E_x compresi tra 0 e +5 volt. La scala dello strumento può essere tarata direttamente in volt.

Il circuito semplificato a triodo ora descritto ha un numero limitato di applicazioni, in quanto può essere usato soltanto per la misura di tensioni continue fino al valore massimo di 5 volt. I voltmetri elettronici di produzione commerciale sono invece costruiti in modo tale da permettere la misura di tensioni sia a c.a. che a c.c., con un certo numero di portate differenti che si estendono da pochi millivolt a diverse migliaia di volt.

VOLTMETRO a VALVOLA BASILARE per C. A.

La **figura 3-A** illustra un semplice circuito adatto alla misura di tensioni alternate. Sebbene tale circuito sia eguale a quello ora visto per la misura di tensioni continue, esso può — tuttavia — essere impiegato per misurare tensioni alternate comprese tra 0 e 5 volt, con una gamma di frequenze molto ampia.

Negli istanti in cui nessuna tensione E_x viene applicata ai terminali di ingresso, la valvola è in interdizione a causa della tensione negativa di polarizzazione di 5 volt presente sulla griglia: in assenza di corrente anodica, lo strumento indica zero. Questo punto è messo in evidenza sulla curva caratteristica tensione di griglia/corrente anodica, alla figura 3-**B**. Non appena ai terminali di ingresso viene applicata una tensione alternata, le alternanze positive riducono la tensione negativa di polarizzazione in proporzione diretta rispetto all'ampiezza dello stesso semiperiodo positivo, per cui all'interno della valvola si manifesta una corrente anodica.

Dal momento che la valvola è polarizzata al punto di interdizione, le alternanze negative, invece, non hanno alcun effetto sulle condizioni del circuito: infatti, se la polarizzazione negativa di griglia assume valori superiori a —5 volt, la corrente resta zero in quanto non può certo assumere valori inferiori.

La presenza della corrente durante le alternanze positive della tensione alternata applicata alla griglia, produce impulsi di corrente aventi la forma d'onda illustrata alla figura 3-B.

A causa della sua inerzia, l'indice dello strumento non può seguire l'andamento di tali impulsi, per cui esso non ne indica il valore di picco, bensì indica il valore medio della corrente circolante nel circuito di placca. Un esame della forma d'onda della corrente di placca ci mostra che il valore medio di detti impulsi, alla corrente anodica massima, è di 3,2 milliampère. Scegliendo uno strumento che necessiti di tale corrente per la completa deviazione dell'indice fino all'estremità destra della scala, detta deviazione massima ha luogo allorchè il valore di picco delle alternanze positive della tensione d'ingresso ammonta a 5 volt, e la tensione di polarizzazione della griglia è ridotta a zero.

La scala dello strumento può essere tarata in valori di picco della tensione alternata da misurare, in quanto la corrente che percorre lo strumento viene determinata dalla tensione applicata all'ingresso. I voltmetri elettronici per c.a. possono, comunque, essere tarati per indicare valori di tensione medi, di picco, o efficaci.

LE SONDE

Per « probe » o sonda si intende un puntale espressamente progettato per l'uso con un determinato strumento di misura, e collegato ai terminali d'ingresso del voltmetro mediante un apposito cavo. Alcuni tipi di sonda aumentano e altri diminuiscono la resistenza o la capacità di ingresso del voltmetro; altri tipi isolano il volt-

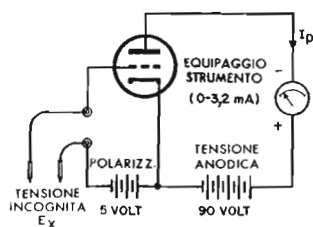



Fig. 3A — Semplice voltmetro a valvola per misure in c.a. È identico al precedente, e funziona del pari in classe B. Le semionde positive del segnale determinano una certa corrente anodica.

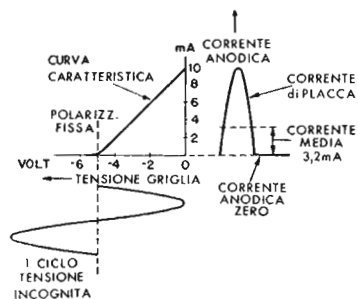



Fig. 3B — Analisi grafica del funzionamento del circuito di figura 3A. La corrente anodica si manifesta soltanto durante i semiperiodi positivi del segnale applicato (da misurare).

metro nei confronti della c.c. e rendono minimo l'effetto di carico da parte del voltmetro per c.c. allorchè si effettuano misure su circuiti percorsi contemporaneamente da tensioni a Bassa Frequenza ed a radio frequenza. Altri tipi di sonda infine, comportano resistenze di valore molto alto e agiscono come moltiplicatori di portata.

Nei casi in cui la tensione da misurare debba essere rettificata prima dell'applicazione all'ingresso dello strumento, nella sonda viene solitamente incorporato l'elemento rettificante.

Il tipo più semplice di sonda usato con i voltmetri elettronici nella misura di tensioni a c.c. è quello che reca all'interno una resistenza in serie. Il valore di tale resistenza può essere compreso tra 1 e 5 Megaohm, tuttavia il valore di 1 Megaohm è quello più usato. Il compito di questa resistenza consiste nel rendere minimo il carico applicato durante la misura, e nell'evitare lo spostamento di sintonia di un circuito mentre si effettuano su di esso misure di tensione a corrente continua.

Un tipo di sonda usato per misurare tensione a c.a. incorpora un piccolo condensatore, della capacità approssimativa di 0,5 pF, collegato in serie al circuito d'ingresso.

Tale capacità riduce quella d'ingresso del voltmetro ad un valore molto basso per cui rende minimo l'effetto dello spostamento di sintonia mentre si effettuano misure di c.a. sui circuiti sintonizzati. Oltre a ciò, la capacità blocca l'entrata a qualsiasi componente continua presente insieme al segnale da misurare, evitando errori nella lettura.

La sonda a cristallo di germanio offre la caratteristica di una risposta uniforme su ampia gamma di frequenza, e di una bassa capacità di entrata: viene impiegata molto spesso per la misura di tensioni a frequenza molto elevata. Il suo unico svantaggio consiste nel fatto che non possono essere applicate tensioni elevate.

TIPI di VOLTMETRI ELETTRONICI

Voltmetro elettronico a rettificatore-amplificatore

La **figura 4** illustra lo schema funzionale di un voltmetro a valvola atto all'impiego per il controllo degli apparecchi per radio comunicazioni; la **figura 5** ne illustra invece lo schema elettrico di principio. Si possono misurare tensioni continue e alternate su diverse portate impiegando moltiplicatori esterni.

La sezione amplificatrice del voltmetro contiene due triodi, V_2 e V_3, collegati in un circuito bilanciato detto anche « differenziale ». La sensibilità propria dello strumento ammonta a 200 microampère c.c. ed esso è inserito nella sezione amplificatrice. Per la misura di tensioni alternate si ricorre all'uso di una sonda munita di rettificatore, che viene collegata ai terminali di ingresso dell'amplificatore attraverso un cavo schermato di lunghezza ridotta. Le tensioni di funzionamento delle valvole vengono ricavate da un alimentatore incorporato (non illustrato per brevità) ed ogni portata, sia in c.a. che in c.c., viene scelta mediante pulsanti disposti sul pannello frontale dell'apparecchio.

Lo schema elettrico della sezione amplificatrice illustrato alla figura 5, è un circuito amplificatore di c.c. bilanciato. Il sistema di commutazione dello strumento consente la misura di tensioni continue negative nella posizione illustrata nella sezione **A** e di tensioni continue positive nella posizione illustrata dalla sezione **B.** La tensione di alimentazione di 300 volt viene divisa in modo tale che le placche dei due triodi vengono polarizzate con una tensione positiva di 150 volt attraverso il potenziometro R_5, mentre ai catodi delle valvole viene applicata una tensione negativa. Il potenziometro R_5 serve per la regolazione dell'indicazione 0 (azzeramento) dello strumento e può essere regolato mediante apposita manopola presente sul pannello. Esso consente la regolazione della tensione di placca mediante la compensazione delle eventuali differenze tra le caratteristiche delle due valvole.

Il microampèrometro per c.c. è collegato in serie alle resistenze R_A ed R_B necessarie per la taratura delle portate; il circuito in serie costituito dallo strumento e da queste due resistenze, è collegato tra i due catodi.

Se le tensioni di polarizzazione delle placche delle due valvole sono eguali, e nessuna tensione viene applicata ai terminali d'ingresso del voltmetro, le due correnti anodiche sono eguali. Ne consegue che, dal momento che correnti eguali percorrono entrambe le resistenze catodiche (che sono di pari valore), ai capi di queste ultime si ottiene la medesima caduta di tensione, per cui i catodi hanno il medesimo potenziale e lo strumento indica 0. Non appena una tensione di valore sconosciuto viene applicata alla griglia di una delle valvole, si ha una differenza tra le due correnti anodiche (una valvola assorbe più corrente dell'altra) che provoca uno sbilanciamento

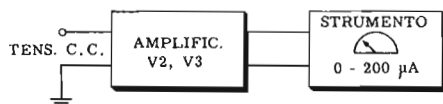



Fig. 4A — Rappresentazione a « blocchi » di un voltmetro amplificatore. Il voltmetro vero e proprio è preceduto da un amplificatore che consente la misura di tensioni deboli, non misurabili con un semplice « tester ».

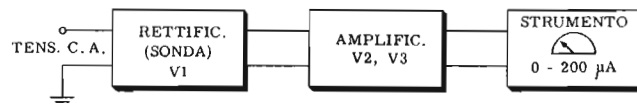



Fig. 4B — Rappresentazione a « blocchi » di un voltmetro amplificatore più complesso del precedente. Questo aggiunge infatti alle prerogative dell'altro la presenza di un « probe » (sonda), nel quale è installato un elemento rettificatore. Esso può essere un diodo a valvola o a cristallo, e consente la misura in corrente alternata.

nel circuito, per cui si ha un passaggio di corrente attraverso lo strumento. Tarando opportunamente la scala di quest'ultimo, l'ammontare della deflessione dell'indice è resa proporzionale al valore della tensione applicata.

Se alla griglia di V_2 nel circuito della sezione A, si applica una tensione negativa di 10 volt, la tensione presente ai capi di R_{25} determina una tensione meno positiva sul catodo della medesima valvola, per cui il catodo di V_3 diventa più positivo. In questo caso, si ha un passaggio di corrente tra il catodo di V_2 e quello di V_3, attraverso lo strumento e le resistenze di taratura R_A ed R_B, per cui l'indice dello strumento subisce una deviazione. Dal momento che tale deviazione è proporzionale al valore della tensione incognita applicata alla griglia della valvola, la posizione assunta dall'indice può essere contrassegnata col valore di 10 volt sulla scala dello strumento.

Se la tensione incognita ha una polarità positiva, essa viene applicata alla griglia di V_3, come è illustrato nella sezione B. In questo caso la tensione positiva presente sulla griglia rende il catodo della valvola più positivo che non quello di V_2, per cui si ha un passaggio di corrente, attraverso lo strumento, da V_2 a V_3. La corrente percorre lo strumento nel medesimo senso nella misura di tensioni sia positive che negative. Nel complesso viene inserito un commutatore, a due vie, che permette di collegare la tensione da misurare alla griglia di una valvola o a quella dell'altra. La griglia della valvola alla quale non viene applicata la tensione incognita viene collegata a massa per ottemperare alle condizioni di funzionamento.

Per ogni portata vengono commutati gruppi di resistenze collegate in serie allo strumento. Una di tali resistenze, e precisamente quella indicata R_A, è sempre fissa, mentre l'altra, R_B, è variabile per permettere una messa a punto esatta dello strumento. Tali resistenze agiscono da moltiplicatori di portata, e, allorchè la tensione da misurare aumenta di valore, il valore delle resistenze deve aumentare proporzionalmente affinchè la quantità di corrente che passa attraverso lo strumento sia limitata al valore massimo di 200 microampère richiesto per la deviazione completa dell'indice dello strumento.

Questo circuito presenta notevole stabilità per le portate più alte, ma, nelle portate inferiori a 3 volt a fondo scala, la resistenza R_B che si trova in serie allo strumento risulta di valore basso, e la stabilità del circuito non è altrettanto buona come sulle alte portate.

Nella misura di tensioni alternate si usa una sonda contenente un doppio diodo il quale rettifica detta tensione prima che essa venga applicata all'ingresso del circuito amplificatore, come è illustrato alla **figura 6**. Sebbene tale doppio diodo sia illustrato in prossimità del circuito applicatore, esso è, in realtà — come si è accennato — alloggiato all'interno della sonda e collegato al circuito del voltmetro mediante un cavo schermato.

La tensione da misurare viene applicata alla prima metà del doppio diodo, e precisamente a $V_{1\text{-}A}$, mentre l'altra metà, $V_{1\text{-}B}$, è collegata alla griglia di V_3.

Quando nessuna tensione viene applicata al primo diodo rettificatore ($V_{1\text{-}A}$), la placca di quest'ultimo è polarizzata con un potenziale di circa 1 volt negativo rispetto a massa. Questo potenziale, detto « di contatto », è conseguenza — come sappiamo — degli elettroni che si staccano dal catodo incandescente con velocità sufficiente per raggiungere comunque la placca. Il movimento di questi elettroni determina una caduta di tensione di circa 1 volt, ai capi della resistenza di placca, ed è presente sulla griglia di V_2 per cui provoca uno sbilanciamento nel circuito amplificatore. Per ristabilire l'equilibrio e bilanciare nuovamente il circuito, si applica un potenziale eguale alla griglia di V_3, collegando ad essa la sezione del secondo diodo rettificatore ($V_{1\text{-}B}$). Il valore esatto del potenziale di contatto necessario per neutralizzare l'effetto della tensione presente alla griglia di V_2 viene ottenuto regolando il potenziometro R_3 sino a che si ha l'indicazione di 0 da parte dello strumento.

Il diodo $V_{1\text{-}A}$ funge da rettificatore di una semionda, e la corrente rettificata che scorre attraverso R_1 ed R_4, rende negativa la griglia di V_2. Tale tensione negativa compromette l'equilibrio del circuito e determina un passaggio di corrente attraverso lo strumento, proporzionale alla tensione applicata. La capacità C_2 filtra la tensione rettificata e C_1 serve a bloccare qualsiasi componente continua presente nella tensione da misurare.

Per ogni portata in c.a. sono necessarie varie serie di resistenze di taratura. La scala dello strumento, per le portate inferiori a 3 volt, non è lineare, in quanto il diodo non effettua una rettificazione lineare con basse tensioni.

Alloggiando il rettificatore all'interno della sonda si può usare l'amplificatore tipico per c.c. anche per tutte le misure in c.a. Quando la tensione alternata applicata viene rettificata nella sonda, è possibile effettuare misure

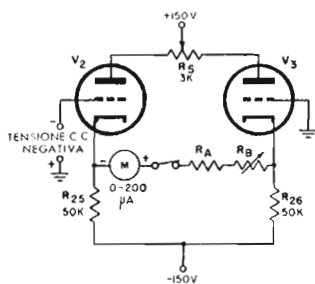



Fig. 5A — Voltmetro elettronico a circuito bilanciato. È adatto alla misura di tensioni continue negative. La resistenza R_B può assumere vari valori, mediante un commutatore, per le varie portate a fondo scala.

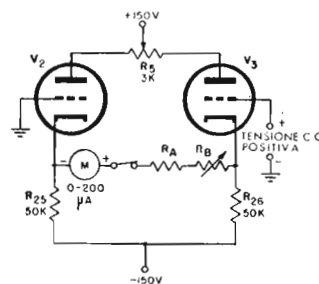



Fig. 5B — Circuito identico al precedente, ma adattato alla misura di tensioni continue positive. Il passaggio da un circuito all'altro avviene mediante la rotazione di un apposito commutatore.

su una gamma di frequenze molto ampia, in quanto la capacità e l'induttanza del cavo non hanno alcun effetto pratico sulle tensioni continue che trasferiscono.

Voltmetro elettronico amplificatore

Sebbene il tipo di voltmetro rettificatore-amplificatore possa misurare tensioni in una ampia gamma di frequenze, la sua sensibilità è limitata, in quanto i segnali di ampiezza ridotta — dell'ordine cioè dei millivolt — non possono essere misurati.

Mediante l'uso di uno o più stadi di amplificazione posti immediatamente prima dell'elemento rettificatore, si possono amplificare le tensioni anche dell'ordine dei microvolt, in modo tale da rendere pratica la misura mediante lo strumento. A causa della discrimazione di frequenza che si verifica attraverso detti stadi di amplificazione aggiunti, il voltmetro elettronico amplificatore-rettificatore non è utilizzabile per la misura di tensioni a frequenza molto elevata. Tuttavia, esso è molto utile nella misura di tensioni a frequenza acustica: a radio frequenza può comunque giungere fino ad alcuni Megahertz.

A seconda del tipo particolare di circuito predisposto, e a seconda delle sue applicazioni, il voltmetro elettronico prende il nome di voltmetro per Bassa Frequenza, logaritmico, o ad ampia gamma.

Il circuito illustrato alla **figura 7**, consente il funzionamento su diverse portate, a partire da un millivolt, fino a 100 volt, ed è caratterizzato anche dall'impiego di due stadi di amplificazione che precedono il rettificatore. La portata alta può essere estesa ulteriormente mediante l'uso di moltiplicatori, per consentire la misura di tensioni di diverse migliaia di volt. La gamma di frequenza si estende da 10 Hz a 150 kHz. Per semplicità, sono stati raffigurati, funzionanti negli stadi amplificatori, dei triodi, ma, in realtà, nelle realizzazioni pratiche si preferisce ricorrere all'uso dei pentodi.

Immediatamente dopo l'amplificazione, la tensione di ingresso viene rettificata mediante un raddrizzatore ad ossido, e l'indice dello strumento subisce delle deviazioni ad opera della corrente rettificata che lo percorre. Una parte della tensione d'uscita viene riportata ad un terminale della resistenza R_1 collegata sul catodo di V_1 per migliorare la stabilità di funzionamento.

Durante la misura di una tensione, quest'ultima viene applicata alla griglia di V_1 attraverso un attenuatore d'ingresso, dopo di che viene amplificata dal primo stadio. Da qui, il segnale viene accoppiato al secondo stadio il quale effettua un'ulteriore amplificazione. Infine, la tensione amplificata viene inviata al circuito finale, che consiste in un rettificatore in serie allo strumento, attraverso la capacità C.

La resistenza R_2 limita la corrente che scorre nello strumento. Negli istanti in cui la tensione applicata al condensatore C è positiva, si ha un passaggio di corrente attraverso il circuito raddrizzatore. Contemporaneamente, la tensione che si sviluppa ai capi di R_1 aumenta la polarizzazione negativa di V_1 riducendo il guadagno totale dello stadio di amplificazione corrispondente, col risultato di una migliore stabilità.

Voltmetro elettronico a lettura inversa

La **figura 8** illustra il circuito di principio di un voltmetro elettronico a lettura inversa il cui uso è limitato ad applicazioni speciali. La lettura, con questo voltmetro, non avviene direttamente come nei tipi precedentemente descritti.

Il potenziometro, R_1, che determina la tensione inversa, viene anzitutto regolato sino a che si ha lettura del valore zero sullo strumento. Fatto ciò, i terminali d'ingresso vengono cortocircuitati, ed il potenziometro R_2, contrassegnato « regolazione zero », viene regolato fino ad ottenere una indicazione minima (1/10 o 1/20 della intera scala) da parte del microamperometro collegato nel circuito di placca della valvola. Dopo tale operazione si agisce nuovamente su R_1, per applicare una tensione fortemente negativa sulla griglia della valvola; ciò evita un sovraccarico quando la tensione d'ingresso è troppo alta.

Si applica infine la tensione da misurare ai terminali d'ingresso dello strumento. L'effetto di tale tensione consiste nell'annullare una parte o tutta la tensione di polarizzazione della griglia, e quindi di aumentare la corrente che scorre attraverso la valvola. Per calcolare, o comunque valutare, il valore della tensione d'ingresso, il potenziometro R_1 va regolato finchè la corrente anodica viene riportata al suo valore iniziale (pari cioè ad 1/10 o 1/20 dell'intera scala), ottenuto senza l'applicazione di tensione continua all'ingresso. A questo punto la lettura dello strumento dà il valore della tensione applicata, il quale è indicato sul voltmetro quando la tensione inversa e quella incognita sono eguali. Quando tale condizione sussiste, la misura del valore della tensione inversa corrisponde al valore della tensione incognita.

Fig. 6 — Mediante l'aggiunta di un elemento rettificatore, (in questo caso un doppio diodo installato in una sonda), è possibile completare un circuito come quello illustrato nelle figure 5A e 5B, predisponendolo per la misura di tensioni alternate. R_B è sempre variabile mediante un commutatore, per consentire le diverse portate fondo scala.

In alcuni tipi di voltmetri elettronici di questo genere, si usa un unico strumento per indicare il punto in cui la corrente è nulla nel momento in cui si effettua la regolazione della tensione inversa. In questo caso la tensione incognita viene valutata regolando il potenziometro corrispondente lungo una scala appositamente tarata.

Voltmetro elettronico sintonizzato

Sebbene i voltmetri a valvola funzionino normalmente con una precisione costante in corrente alternata su una ampia gamma di frequenza, in certi casi si rende necessario l'uso di uno strumento selettivo nei confronti della frequenza. Per ottenere una maggiore sensibilità è possibile collegare uno o più stadi di amplificazione *sintonizzati*, prima del circuito dello strumento. Ogni circuito sintonizzato è reso variabile in una determinata gamma di frequenze, per cui qualsiasi frequenza contenuta entro tali limiti può essere selezionata e misurata. Questo tipo di voltmetro trova un campo di utile applicazione negli apparecchi di prova basati sulla ricerca e analisi del segnale (« signal tracers »), negli analizzatori di armoniche, ed in altri strumenti analoghi.

L'USO del VOLTMETRO a VALVOLA

Il voltmetro a valvola è uno strumento molto sensibile, e, come tale, è soggetto a deterioramento se viene sottoposto a tensioni superiori alle massime consentite. Per questo motivo è opportuno effettuare i collegamenti dei terminali al circuito sotto prova, partendo sempre dalla portata più alta. Se in tal modo non si ottiene una deviazione dell'indice sufficiente per valutare con una certa precisione la tensione letta, è necessario diminuire la portata fino ad avere l'indicazione più esatta.

Nell'uso delle sonde per il controllo di tensioni molto alte, esse vanno impugnate nella parte posteriore del manico: ciò riduce il pericolo di scosse elettriche e diminuisce l'effetto capacitivo della mano sul circuito. Se è possibile, è opportuno collegare la sonda al circuito sotto prova prima che a quest'ultimo venga data la tensione da misurare. Le tensioni continue di valore alto, allorchè sono presenti in un circuito a c.a. sotto prova, caricano il condensatore di accoppiamento d'ingresso dello strumento, per cui, se il puntale della sonda e la massa vengono poi toccati contemporaneamente, ciò può causare una scossa elettrica notevole. Per evitare questo fatto, porre sempre a massa, momentaneamente, la parte attiva della sonda dopo ogni misurazione.

Altre importanti precauzioni da osservare per la misura di tensioni alte, sono le seguenti:

1) Prima di effettuare qualsiasi misura, individuare tutti i punti ad alta tensione del circuito sotto prova.
2) Lavorare sempre con una mano in tasca.
3) Assicurarsi che nessuna parte del corpo sia in contatto con la massa.
4) Tenere presente che qualsiasi punto di un apparecchio difettoso può presentare un alto potenziale, per cui è opportuno usare sempre la sonda in caso di dubbio.
5) Nella misura di correnti nei circuiti con alta tensione, interrompere il circuito sempre in prossimità del potenzale di massa.

Allorchè si usa una sonda per effettuare misure in circuiti ad Alta Frequenza, il suo punto di massa deve essere il più possibile vicino al punto di misura. I fili di collegamento, indipendentemente dal fatto che la loro lunghezza è ridotta, causano sempre una certa caduta di tensione agli effetti delle alte frequenze. Per questo motivo è molto importante collegare il terminale sensibile del voltmetro al punto esatto dove è necessario effettuare la lettura e, come si è detto, il punto di massa della sonda al punto di massa più vicino al punto di lettura.

Le portate in corrente alternata di un voltmetro elettronico sono tarate in valore efficaci di tensioni sinusoidali. Nella misura di tensioni non sinusoidali, non è perciò possibile ottenere letture esatte, a meno che lo strumento non sia tarato in valori di picco. L'uso del voltmetro elettronico non è consigliabile nei confronti delle tensioni non sinusoidali, salvo che la precisione sia un fattore di importanza secondaria in quanto risulti sufficiente il rilievo di misure di confronto.

La taratura del voltmetro a valvola necessita di frequenti controlli.

NOTE sulle APPLICAZIONI e sui TIPI SPECIALI

Per usare razionalmente un voltmetro a valvola, dopo aver acceso lo strumento è opportuno attendere alcuni minuti onde permettere ai vari componenti di raggiungere la temperatura normale di funzionamento. Una volta raggiunta detta temperatura, si provvede alla regolazio-

Fig. 7 — In questo circuito, l'elemento rettificatore è preceduto da due stadi di amplificazione. Essi consentono la misura di tensioni bassissime (da 1 mV in su), e, mediante l'attenuatore di ingresso, è del pari possibile misurare tensioni dell'ordine di 100 V.

ne dello zero agendo sull'apposita monopola presente sul pannello. Le misure possono essere effettuate soltanto se l'indice non si sposta dalla posizione zero in assenza di tensioni di ingresso. L'uso appropriato delle varie portate dello strumento varia col variare dei tipi, e viene normalmente descritto nelle istruzioni che accompagnano ogni strumento di produzione commerciale.

Abbiamo già accennato ai vantaggi del voltmetro elettronico: a causa dell'alta impedenza di ingresso, il voltmetro a valvola è utile per la misura di tensioni in circuiti ad impedenza relativamente alta. Ad esempio, si usa un voltmetro con impedenza d'ingresso di 10 Megaohm per misurare una caduta di tensione ai capi di una resistenza di fuga di griglia, di 2 Megaohm. La resistenza totale derivante dai due valori in parallelo ammonta a 1,7 Megaohm; tale valore è talmente prossimo a quello della resistenza stessa che la corrente che circola può essere considerata la stessa, con o senza l'applicazione del voltmetro al circuito. Ne consegue che le misure di tensione possono essere effettuate senza alterare le condizioni di funzionamento del circuito.

Analogamente, è possibile effettuare misure di tensione su circuiti sintonizzati nei quali l'impedenza dei vari componenti è critica, ed una minima variazione dell'impedenza del circuito (provocata, ad esempio, dall'uso di uno strumento a bassa impedenza) può apportare notevoli variazioni alle condizioni di funzionamento.

Grazie alla sua ampia gamma di frequenza, il voltmetro a valvola è particolarmente adatto alla misura del guadagno degli stadi amplificatori. Tale misura viene effettuata dividendo il valore della tensione d'uscita (misurato per varie frequenze) per il corrispondente valore delle tensioni d'ingresso. Misure di questo tipo possono essere effettuate su di un unico stadio dell'amplificatore, oppure su diversi stadi contemporaneamente. La tensione d'ingresso può essere fornita da un generatore di segnali, ossia da un apparecchio che fornisce delle oscillazioni costanti con ampiezza costante alle varie frequenze (un tale strumento sarà oggetto di apposita lezione).

I voltmetri a valvola possono essere usati vantaggiosamente per localizzare guasti nei ricevitori radio, nei trasmettitori o negli amplificatori, applicando all'ingresso un segnale prodotto da un generatore, e misurando le tensioni che si sviluppano in corrispondenza di ogni punto critico.

Per il controllo del segnale con tale metodo, viene impiegato il voltmetro elettronico amplificatore-rettificatore. Ciò, in quanto l'ampiezza del segnale può essere, in certi casi, molto piccola, per cui si rende necessaria un'amplificazione notevole prima di effettuare la misura.

I tipi sintonizzati vengono usati per la misura della distorsione, del rumore di fondo e del coefficiente di amplificazione; tali misure aiutano molto a localizzare lo stadio in cui è presente un guasto.

Altre misure possibili col voltmetro a valvola sono: il controllo della tensione CAV (controllo automatico di volume), la misura della tensione di discriminazione (nei ricevitori a modulazione di frequenze e nelle apparecchiature radar), e la misura della tensione della polarizzazione di griglia degli oscillatori. Queste voci, di cui non è stato ancora illustrato il significato, saranno oggetto di ampia esposizione allorchè l'argomento sarà raggiunto in relazione al logico sviluppo del Corso.

L'alimentazione necessaria al voltmetro a valvola non comporta problemi particolari. Logicamente, viene fatto di pensare ad un alimentatore stabilizzato ma, in pratica, alcuni accorgimenti circuitali relativi al voltmetro stesso rendono superfluo l'onere della stabilizzazione. Si tratta dell'impiego di controreazione (una parte di segnale viene riportata, nella dovuta relazione di fase, agli stadi precedenti) che stabilizza tutti gli stadi interessati, e del ricorso, in certi casi, a circuiti a ponte che contribuiscono anch'essi ad equilibrare dannose variazioni.

In relazione a quanto ora accennato, si perviene alla possibilità di adottare un semplicissimo rettificatore, anche ad una sola semionda, ed il relativo circuito di filtro, anch'esso notevolmente semplificato; tante volte il filtraggio è addirittura eliminato. Ciò che è importante è che sia adottato un trasformatore di alimentazione e non un autotrasformatore: è opportuno, infatti, che vi sia un certo isolamento rispetto alla rete luce di alimentazione.

In questi ultimi anni i diodi a cristallo hanno sostituito in moltissime applicazioni i diodi termoionici. Anche i voltmetri a valvola perciò fanno spesso ricorso ai vantaggi che un diodo così comodo com'è quello a cristallo, comporta. Tale tipo di diodo infatti, non richiede tensione e corrente per l'accensione, è di ingombro limitatissimo e presenta una capacità propria molto bassa: esso costituisce perciò un organo ideale per essere incluso nelle sonde. Un tipo di voltmetro — che, evidentemente non può più essere detto voltmetro a valvola... ma che è pur sempre un voltmetro elettronico — è formato semplicemente da una

Fig. 8 — Circuito elementare di un voltmetro elettronico a triodo, del tipo detto a « lettura inversa ». In questo tipo, per effettuare la lettura, è prima necessario azzerare lo strumento.

Fig. 9 — Schema di principio per illustrare come viene effettuata la misura del coefficiente di amplificazione di una valvola o di un amplificatore in genere. Il voltmetro a valvola consente la misura esatta del segnale di ingresso fornito dal generatore, e del segnale di uscita. L'amplificazione è data dal rapporto tra le letture.

sonda con diodo a cristallo e relative resistenze e condensatori di carico, da un condensatore di accoppiamento e da un microamperometro collegato alla sonda dal solito cavetto schermato. Non è necessaria alcuna sorgente di energia. Lo strumento, che agisce a spese della tensione da misurare, deve essere molto sensibile (5-10 microampère): nonostante tale sensibilità si verifica, nei riguardi dei circuiti oscillanti eventualmente sotto misura, un notevole smorzamento e, per le normali radiofrequenze questo tipo di voltmetro non risulta adatto. Si possono attuare più portate incorporando, presso al microampèrometro, diverse resistenze « shunt » e commutando le stesse in relazione alle portate.

Un'altra soluzione originale per realizzare una particolare apparecchiatura di misura consiste nell'abbinare ad una sonda a diodo, un voltmetro il cui funzionamento è basato sul principio del condensatore e che viene detto appunto, « statico ». Al diodo non è posta in parallelo alcuna resistenza, bensì solo il voltmetro di cui sopra: esso si carica in base al valore di picco della tensione alternata da misurare. Una volta carico non consuma alcuna corrente e continua ad indicare la tensione. Si presta assai bene all'impiego nella tecnica delle apparecchiature che usano impulsi (ad esempio certi trasmettitori) e deve essere isolato in modo molto spinto affinchè non vi siano dispersioni che smorzino il diodo e scarichino il voltmetro a condensatore.

Dobbiamo accennare, sempre sull'argomento dei tipi speciali, ai tipi di voltmetri con scala logaritmica. Nella lezione che segue, parlando di una particolare unità di misura, il « decibel », vedremo i suoi rapporti con i logaritmi: diremo anche della necessità di valutare l'andamento di certi fenomeni secondo un andamento logaritmico. Tra questi fenomeni, molto noti sono quelli che riguardano il campo acustico (la sensibilità dell'orecchio ha un andamento logaritmico) per cui in tale ramo risulta assai comodo disporre di voltmetri con scala logaritmica. Per ciò che si riferisce ai voltmetri a valvola diremo che i modelli a **scala logaritmica** sono realizzabili: occorre però, o l'aggiunta di particolari stadi di regolazione o uno sfruttamento piuttosto complesso del fenomeno della controreazione.

Già abbiamo fatto cenno ai tipi di voltmetro sintonizzati. Aggiungeremo che, a volte, il voltmetro sintonizzato include un amplificatore inserito tra l'entrata ed il circuito voltmetrico: questo amplificatore, che può essere paragonato ad un vero e proprio ricevitore radio, è studiato in modo da consentire un'amplificazione assolutamente costante e stabile sulle diverse gamme interessate. Stante ciò si possono valutare le diverse intensità di segnali in arrivo, di modo che la funzione di un tale complesso risulti essere quella di un **misuratore dell'intensità di campo.**

Concluderemo questo esame del voltmetro elettronico ponendo in evidenza il fatto che, molto spesso, si approfitta delle sue particolari prerogative per disporre, in un unico strumento, anche di un ohmetro che potremmo definire, a valvola. Risulta, infatti, abbastanza facile adattare un voltmetro a valvola per corrente continua alla funzione di **misuratore di resistenze.** L'ohmetro che ne risulta, consente facili letture a valori assai più alti di quelli comunemente raggiunti dagli ohmetri non elettronici. In conseguenza di quanto ora detto, i voltmetri a valvola più moderni includono la funzione di ohmetri e, naturalmente, su diverse portate. Il principio di funzionamento è quello classico: occorre perciò includere una batteria, un commutatore per le portate, e le resistenze tarate relative. La resistenza incognita viene posta in serie a quella nota, ed il circuito risulta chiuso con entrambe, ai capi della batteria. Il voltmetro legge la caduta di tensione che si verifica ai capi della resistenza incognita dando una lettura che è proporzionale al valore della resistenza stessa. Occorrono le abituali operazioni di azzeramento prima delle letture. Le scale sono opportunamente tarate per cui, per conoscere il valore, è sufficiente osservare l'indicazione numerica della scala e moltiplicarla per il fattore inerente la portata.

La serie di apparecchiature di misura di cui riportiamo descrizioni ai fini costruttivi include un completo e moderno voltmetro elettronico. Sulla sua costruzione sarà detto ampiamente tra un paio di lezioni, intanto precisiamo che questo strumento presenta sette portate a fondo scala (di 1,5 a 1500 volt) per letture sia in corrente continua che alternata: una resistenza d'entrata di 11 Megaohm e, come ohmetro elettronico, permette letture da 0,1 ohm a ben 1000 Megaohm, suddivise anch'esse in sette portate. Le valvole necessarie sono due sole. Prerogativa notevole è infine quella della uniformità di comportamento su di un'ampia gamma di frequenza, per cui si possono eseguire utili misure su segnali di frequenza da 40 Hertz sino a 7,2 Megahertz: come si vede, sia in Bassa che in Alta Frequenza.

SIMBOLI - ABBREVIAZIONI

A = Classe di amplificazione in cui la corrente anodica scorre durante l'intero ciclo del segnale di griglia.

AB = Classe di amplificazione in cui la corrente anodica scorre durante i semiperiodi positivi e parte dei semiperiodi negativi del segnale di griglia.

AB_1 = Classe di amplificazione in cui la corrente anodica scorre come nella classe AB, senza però che si abbia mai la presenza di una corrente di griglia.

AB_2 = Classe di amplificazione in cui la corrente anodica scorre come nella classe AB, con la differenza che si ha una certa corrente di griglia durante i picchi dei semiperiodi positivi del segnale.

B = Classe di amplificazione in cui la corrente anodica scorre soltanto durante i semiperiodi positivi del segnale di griglia.

C = Classe di amplificazione in cui la corrente anodica scorre soltanto durante i picchi dei semiperiodi positivi del segnale di griglia.

C_k = Capacità di catodo (condens. di « filtro » o di « fuga »).

C_g = Capacità di griglia (di accoppiamento).

dB = Decibel: logaritmo del rapporto tra due grandezze.

dBm = Decibel riferito al livello di potenza di 1 mW.

E_b = Tensione anodica di alimentazione.

e_b = Tensione anodica istantanea riferita al catodo.

E_{bo} = Tensione anodica in assenza di segnale.

E_{co} = Tensione ai capi del carico, in assenza di segnale.

E_c = Tensione di polarizzazione di griglia.

E_g = Tensione di griglia.

E_{go} = Tensione di griglia in assenza di segnale.

e_{RC} = Tensione istantanea ai capi del carico.

E_{RC} = Tensione presente ai capi del carico.

E_s = Tensione del segnale.

I_{bo} = Corrente anodica in assenza di segnale.

i_o = Corrente istantanea.

i_p = Corrente istantanea di placca.

R_g = Resistenza di griglia.

R_c = Resistenza del carico.

R_k = Resistenza di catodo.

r_p = Resistenza istantanea di placca.

FORMULE

dB = 10 log P1 : P2

dBm = dB riferiti ad 1 mW

$E_{co} = E_b - E_{bo}$

$E_b = I_c R_c + i_p r_p$

$R_k = E_g : I_{bo}$

DOMANDE sulle LEZIONI 52ª e 53ª

N. 1 —
Quale caratteristica deve avere la resistenza di carico di una amplificatrice di tensione?

N. 2 —
Che cosa si desidera ottenere da uno stadio di amplificazione finale (di potenza)?

N. 3 —
Quale deve essere il valore relativo dell'impedenza di carico di un triodo di potenza, nei confronti della resistenza dinamica di placca?

N. 4 —
Quale deve essere il valore relativo dell'impedenza di carico di un pentodo di potenza, nei confronti della resistenza dinamica di placca?

N. 5 —
In uno stadio amplificatore di tensione, quale è la classe di amplificazione che consente nel circuito di uscita la esatta riproduzione del segnale di ingresso amplificato?

N. 6 —
Come viene definito il « rendimento » di uno stadio di potenza?

N. 7 —
In quali condizioni si trova la tensione di polarizzazione della griglia in una valvola funzionante in classe B?

N. 8 —
Per quale motivo si può affermare che uno stadio funzionante in classe C consente un alto rendimento?

N. 9 —
Da che cosa dipende, in massima parte, la distorsione apportata al segnale di uscita da parte di una valvola amplificatrice di tensione o di potenza?

N. 10 —
A quanto ammonta il rendimento approssimativo di uno stadio di potenza funzionante rispettivamente nelle classi A, AB, B e C?

N. 11 —
Per ottenere un minimo di distorsione del segnale di ingresso, è più conveniente usare uno stadio singolo o uno stadio in controfase?

N. 12 —
Nel circuito di una valvola amplificatrice, quale relazione sussiste i valori di e_g, e_c, i_b, e_{RC} ed e_b?

N. 13 —
Quale è la fonte di energia da cui proviene la tensione di polarizzazione di griglia, nel sistema detto « per dispersione di griglia »?

N. 14 —
Quali sono i principali vantaggi di un voltmetro a valvola nei confronti di un « tester », ossia di un voltmetro costituito da uno strumento e da una resistenza addizionale, con rettificatore per la corrente alternata?

N. 15 —
Cosa è un « probe », detto « sonda » in italiano?

RISPOSTE alle DOMANDE di Pag. 401

N. 1 — Accelerare il movimento degli elettroni verso la placca, e ridurre la capacità presente tra placca e griglia.

N. 2 — Sopprimere gli elettroni che rimbalzano dalla placca, e ridurre ulteriormente la capacità interelettrodica: è detta « griglia di soppressione ».

N. 3 — Alla somma della corrente anodica e della corrente di griglia schermo. Entrambe — infatti — provengono dal catodo, ed influiscono sul valore della resistenza catodica.

N. 4 — In quanto la « pendenza » ossia l'inclinazione della curva caratteristica è notevolmente maggiore.

N. 5 — Perchè la differenza di potenziale tra placca e catodo in assenza di carico (curva statica) è costante, indipendentemente dal valore della corrente di placca. Viceversa, se si ha un carico nel circuito di placca (curva dinamica), la differenza di potenziale presente ai suoi capi, e di conseguenza il potenziale presente tra placca e catodo, varia col variare della corrente.

N. 6 — Per evitare variazioni nella tensione di schermo, e per convogliare a massa qualsiasi oscillazione (segnale) presente sulla stessa griglia schermo.

N. 7 — Essa è riferita alla parte della curva caratteristica nella quale la corrente anodica diminuisce con l'aumentare della tensione anodica.

N. 8 — La griglia di soppressione — tranne casi del tutto particolari — è normalmente collegata al catodo, o esternamente, o internamente alla valvola. Di conseguenza, il suo potenziale rispetto al catodo stesso è zero.

N. 9 — L'emissione secondaria è costituita dagli elettroni che si allontanano dalla placca, dalla quale si liberano per effetto del bombardamento di elettroni provenienti dal catodo. Ad essa si pone rimedio con l'aggiunta della griglia detta appunto « di soppressione ».

N. 10 — La resistenza di placca ed il fattore di amplificazione sono elevati, mentre la conduttanza mutua è pressochè eguale a quella di un triodo.

N. 11 — Quello di poter funzionare con notevoli intensità di corrente. Per questo motivo essi vengono impiegati, come vedremo, negli stadi finali di amplificatori e nei trasmettitori.

N. 12 — Essa si distingue da una valvola a coefficiente fisso per il fatto che le spire della griglia sono spaziate in modo non uniforme.

N. 13 — Perchè il filamento ha caratteristiche tali da variare notevolmente la sua resistenza col variare della temperatura, ossia della corrente che lo percorre.

N. 14 — Aumenta contemporaneamente la corrente tra i due elettrodi.

N. 15 — Collegando in serie due di tali valvole, ed applicando la tensione di 300 volt alle estremità. Ovviamente, il collegamento deve essere tale che l'anodo di una corrisponda al catodo dell'altra.

N. 16 — La ionizzazione del gas rarefatto.

N. 17 — Variando la tensione di griglia della valvola regolatrice in serie all'uscita. In tal modo si varia la sua resistenza interna, e quindi la caduta di tensione presente tra placca e catodo.

N. 18 — —Mediante il primo si eleva una tensione continua direttamente, mentre mediante il secondo la tensione di uscita deve essere in seguito rettificata.

IL DECIBEL

Ci siamo occupati — a volte sommariamente, ed a volte dettagliatamente — di quasi tutte le unità di misura dell'elettricità, di molte della fisica, della meccanica, ecc. In altre parole, abbiamo conosciuto pressochè tutte le grandezze in gioco nelle scienze esatte.

Una interessante particolarità delle unità di cui ci siamo occupati, è che **ciascuna di esse esprime una grandezza ben definita.** In funzione di tali unità è possibile esprimerne altre.

Possiamo affermare che le unità « metro », « centimetro », « litro », « chilometro », « chilogrammo », sono grandezze ben definite, inconfondibili ed inconfutabili. Anche le unità elettriche sono tali. Sappiamo infatti come può essere definito esattamente il « volt », « l'ampère », « l'ohm » ecc.

La caratteristica delle unità di cui sopra manca invece al « decibel », del quale stiamo per occuparci. Questa unità di misura — infatti — non esprime una grandezza definita, bensì **un rapporto tra due grandezze** definite.

Per chiarire questo concetto di rapporto possiamo servirci di un esempio: se diciamo che la distanza tra Milano e Torino è di 145 chilometri, usiamo una grandezza ben definita (il metro e, per comodità, il chilometro); se però diciamo che la distanza tra Modena e Parma è 2 volte la distanza tra Modena e Reggio Emilia, usiamo un rapporto. Ciò non toglie che, conoscendo la distanza tra Modena e Reggio, si possa valutare egualmente la distanza tra Modena e Parma.

Nel nostro campo, riferendoci, ad esempio, all'amplificazione fornita da una valvola in un'apparecchiatura elettronica, possiamo dire che la potenza fornita da un determinato stadio in uscita (circuito di placca) equivale a 10 volte la potenza applicata in entrata (circuito di griglia). In questo caso, il rapporto tra le due potenze in gioco è esattamente 10:1, ossia 10.

Il valore così ricavato viene espresso in **bel**, e corrisponde, in questo caso, ad 1 « bel ». In realtà, l'unità « bel » non viene adottata per semplice comodità di calcolo, mentre è di uso più pratico il *decimo di « bel »*, ossia il **decibel**. In altre parole, 1 bel = 10 decibel (abbreviato 10 dB).

Nell'uso di questo sistema per esprimere delle grandezze, si rivela tutta la praticità ed utilità dei logaritmi, in quanto su di essi si basano tutti i calcoli di amplificazione (decibel positivi) e di attenuazione (decibel negativi).

Il decibel è correntemente impiegato nei riferimenti di alcune caratteristiche dei circuiti elettronici, specialmente per ciò che si riferisce a dati di funzionamento di amplificatori, di antenne, di strumenti di misura, ecc.

L'orecchio umano non ha un responso lineare ai cambiamenti dei livelli di potenza e di energia. Supponiamo di avere, ad esempio, un amplificatore che fornisca una nota pura, con una potenza acustica effettiva pari ad 1 watt. L'esperienza ha dimostrato che, affinchè l'orecchio di un ascoltatore avverta una potenza acustica doppia, la potenza effettiva dell'amplificatore deve aumentare di ben 10 volte, per cui tale potenza deve essere portata a 10 watt.

Analogamente, affinchè l'orecchio avverta un aumento di 3 volte, la potenza deve essere centuplicata, ossia la potenza, da 1 watt deve essere portata a 100 watt. Per dare la sensazione di una potenza quadrupla, la potenza d'uscita effettiva deve essere aumentata di 1.000 volte, e deve quindi essere portata a 1.000 watt, e così via.

Anche per dare all'orecchio dell'ascoltatore la sensazione di una potenza pari alla metà di quella fornita dall'amplificatore da 1 watt, è necessario che la potenza stessa diventi la decima parte, ossia 0,1 watt, e così via.

In tutti i casi considerati, la variazione di potenza può essere comodamente espressa in decibel.

Il decibel equivale a 10 volte il logaritmo in base 10 del rapporto tra due potenze, P1 e P2. Se detto rapporto è maggiore di 1 (ossia se P1>P2), si tratta di decibel positivi (amplificazione); se invece il rapporto è minore di 1 (ossia P1<P2), si tratta di decibel negativi (attenuazione).

Ciò è espresso matematicamente dalla seguente eguaglianza:

$$1) \quad dB = 10 \log \frac{P1}{P2}$$

nella quale P1 e P2 rappresentano le due potenze in gioco, espresse in watt.

La funzione logaritmica è dovuta semplicemente al fatto che — come si è detto poc'anzi — la sensibilità dell'orecchio umano alle variazioni di potenza risulta appunto logaritmica.

Risaliamo ora agli esempi precedentemente citati; possiamo stabilire i valori in decibel che esprimono i relativi rapporti, chiamando P1 la potenza necessaria per dare la sensazione diversa e P2 quella disponibile.

Con un aumento di potenza di 10 volte abbiamo:

$$dB = 10 \log (P1:P2) = 10 \log (10:1) = 10 \log 10;$$

poichè il logaritmo di 10 è 1, l'espressione considerata diventa:

$$dB = 10 \log 10 = 10 \times 1 = 10;$$

si ha quindi un aumento di potenza pari a 10 dB.

Con un aumento di potenza di 100 volte, abbiamo:

$$dB = 10 \log (100:1) = 10 \log 100;$$

poichè il logaritmo di 100 è 2, l'espressione considerata diventa:

$$dB = 10 \log 100 = 10 \times 2 = 20;$$

si ha quindi un aumento di potenza pari a 20 dB.

Con un aumento di potenza di 1.000 volte, abbiamo:

$$dB = 10 \log 1.000 = 10 \times 3 = 30;$$

si ha quindi un aumento di potenza pari a 30 dB.

Nel caso della diminuzione della potenza ad un decimo di quella effettiva, abbiamo P2>P1, ed il rapporto tra le due potenze è 0,1. In tal caso:

$$dB = 10 \log 0{,}1;$$

poichè il logaritmo di 0,1 è —1, abbiamo che:

$$dB = 10 (-1) = -10$$

si ha quindi un aumento di potenza pari a —10 dB.

Occorre rilevare che un aumento di una quantità negativa corrisponde — in realtà — ad una diminuzione. In altre parole in questo caso si ha un'attenuazione di 10 dB.

RELAZIONI tra POTENZA, TENSIONE e CORRENTE

Nella lezione vertente sulle unità di misura elettriche (pag. 75), abbiamo visto come la potenza possa essere espressa in funzione della tensione e della corrente.

Anche i rapporti tra queste grandezze possono essere espressi in decibel; a tale scopo vale la seguente regola: **Il decibel equivale a 20 volte il logaritmo in base 10 del rapporto tra due tensioni o tra due correnti.**

Ciò è espresso matematicamente dalle seguenti eguaglianze:

$$2) \quad dB = 20 \log_{10} \frac{E1}{E2}$$

nella quale E1 ed E2 rappresentano le due tensioni in gioco espresse in volt.

$$3) \quad dB = 20 \log_{10} \frac{I1}{I2}$$

nella quale I1 ed I2 rappresentano le correnti in gioco espresse in ampère.

Si ricordi a tale proposito che il segno « 1 » viene sempre affiancato alla grandezza di uscita ed il segno « 2 » alla grandezza di entrata.

In realtà, queste due eguaglianze risultano vere soltanto **se le due tensioni o le due correnti in gioco sono riferite a due resistenze rispettivamente di eguale valore.** In altre parole, sappiamo che in uno stadio di amplificazione abbiamo una resistenza di ingresso (tra griglia e catodo), ed una resistenza di uscita (resistenza di carico collegata in serie alla placca). Ora, affinchè l'eguaglianza sussista nella forma enunciata, è necessario che la resistenza di ingresso e quella di uscita, ai capi delle quali si trovano le due tensioni considerate, siano di egual valore. Altrettanto dicasi se, in luogo delle tensioni presenti ai loro capi, si considerano le correnti che le percorrono.

Vediamo, con qualche esempio pratico, come è possibile calcolare il guadagno o l'attenuazione in dB in un circuito elettronico.

Supponiamo che la resistenza d'ingresso di uno stadio di amplificazione sia eguale a quella di uscita. Se il segnale di ingresso è di 0,001 volt (pari ad 1 millivolt), e la tensione del segnale presente in uscita è pari a 1 volt. abbiamo che:

$$dB = 20 \log (1:0{,}001) = 20 \log 1.000;$$

poichè il logaritmo di 1.000 è 3, abbiamo che:

$$dB = 20 \times 3 = 60.$$

Si ha dunque un guadagno di 60 dB.

Consideriamo ora il caso di un attenuatore a « π », del tipo illustrato in figura 6A bis, pag. 150. *R1* è eguale ad *R3*, per cui la legge sussiste. Se all'entrata è disponibile una tensione di 1 volt, ed all'uscita la tensione è ridotta a 0,1 volt, abbiamo che:

$$dB = 20 \log (0{,}1:1) = 20 \log 0{,}1;$$

poichè il logaritmo di 0,1 è —1, abbiamo che:

$$dB = 20 (-1) = -20.$$

Si ha dunque un « guadagno » di —20 dB, ossia un'attenuazione di 20 dB.

Il procedimento di calcolo nei confronti del rapporto tra due correnti è del tutto analogo.

CALCOLO dei DECIBEL MEDIANTE le TABELLE

La tabella riportata a pag. 429 consente di effettuare qualsiasi calcolo in decibel, sia che si tratti di rapporti di potenza che di rapporti di tensione o di corrente.

Essa consta di tre gruppi di cinque colonne ciascuno. Ogni gruppo ha una colonna centrale nella quale sono elencati i valori in decibel corrispondenti ai vari rapporti; il gruppo di sinistra va da 0 a 6,9 dB, quello centrale da 7 a 13,9 dB e quello di destra da 14 a 100 dB. L'estensione totale della tabella è dunque compresa tra 0 e 100 dB.

Ai lati di ciascuna delle tre colonne dei decibel (a destra ed a sinistra), sono presenti due colonne contrassegnate P1 : P2 ed E1 : E2. La prima elenca i rapporti di potenza, e l'altra i rapporti di tensione. Quest'ultima può essere usata indifferentemente anche per i rapporti di corrente (I1 : I2), in quanto la formula relativa è del tutto analoga.

Indipendentemente dalla possibilità di calcolare un valore in dB mediante le tavole logaritmiche, questa tabella consente il calcolo rapido ed abbastanza esatto.

Eccone l'impiego: noti che siano i valori di potenza in entrata ed in uscita in uno stadio di amplificazione o di un attenuatore, oppure i valori delle tensioni o delle correnti in gioco, è sufficiente calcolare con una semplice divisione il rapporto tra le due grandezze (P1 : P2, oppure E1 : E2, o ancora I1 : I2). Se il rapporto è maggiore di 1, deve essere individuato in una delle colonne riportate *a destra* della colonna dei decibel, i quali avranno un valore positivo (preceduto dal segno +). Se invece il valore del rapporto è inferiore a 1, esso dovrà essere individuato nelle colonne *a sinistra*, ed il valore in decibel corrispondente sarà negativo (preceduto dal segno —).

Supponiamo, ad esempio, che uno stadio di amplificazione abbia una potenza di ingresso di 0,002 watt, ed una potenza di uscita di 0,060 watt. Il rapporto tra queste due grandezze è 0,06 : 0,002 = 30. Trattandosi di un rapporto di potenza (P1 : P2) maggiore di 1, il valore 30 dovrà essere individuato in una delle colonne presenti a destra delle colonne dei decibel. Il valore ad esso più approssimato è 30,2, e si trova nell'ultima colonna della tabella, a destra del lettore, verso l'alto. Ad esso, nella colonna dei decibel relativa, corrisponde un valore di +14,8 dB.

Se — invece che di un amplificatore — si fosse trattato di un attenuatore, avremmo avuto P1 < P2, ossia il rapporto sarebbe stato 0,002 : 0,06 = 0,033. Tale rapporto, minore di 1, deve essere individuato in una delle colonne presenti a sinistra delle colonne dei decibel. Quello ad esso più approssimato (sempre dei rapporti P1 : P2) è 0,03311, che si trova nella undicesima colonna a partire da sinistra, verso l'alto. Ad esso, nella colonna dei decibel, corrisponde il valore di —14,8 dB.

Trattandosi del rapporto tra tensioni o correnti, l'uso della tabella è del tutto identico, con la sola differenza che il valore deve essere individuato in una delle colonne contrassegnate E1 : E2. Ovviamente, anche in questo caso occorre rispettare la posizione, a seconda che il rapporto stesso sia maggiore o minore di 1.

La tabella è reversibile. Noto infatti il valore in decibel (sia di attenuazione che di amplificazione), è altrettanto facile individuare il rapporto di potenza o di tensione che ad esso corrisponde, invertendo il procedimento.

Allorchè si deve calcolare il rapporto corrispondente ad un valore in dB che non figura nell'elenco, viene sfruttata la caratteristica dei logaritmi secondo la quale *il prodotto di due numeri corrisponde alla somma dei rispettivi logaritmi, ed il quoziente di due numeri alla differenza tra i logaritmi stessi.*

Supponiamo — ad esempio — di dover calcolare il rapporto di potenza corrispondente a +22,5 dB, che non figura nella tabella. Tale valore equivale a +20 dB + 2,5 dB. I rapporti corrispondenti sono 100 e 1,778. Il rapporto risultante sarà pertanto 100 × 1,778 = 177,8.

IL « dBm »

Abbiamo appreso il significato del decibel, e chiarito il concetto che esso non è una vera e propria unità, bensì un rapporto tra due grandezze. Noto il valore di queste ultime, anche il decibel diventa una quantità definita.

Esiste un'altra unità, chiamata « **dBm** » che rappresenta una quantità di valore definito. Il suo impiego è assoluttamente eguale a quello dei decibel. Il « dBm » è, infatti, **un valore in decibel, riferito alla potenza di un milliwatt:** « *zero decibel equivale ad 1 mW* ».

In tal caso, è chiaro che 0,01 watt (pari a 10 mW) equivale a 10 dBm; 0,1 watt (100 mW) equivale a 20 dBm; 1 W (pari a 1.000 mW) equivale a 30 dBm, e così via. Per contro, 1 μW (pari ad un millesimo di mW), equivale a —30 dBm, ecc.

Come si nota, dal momento che esiste un riferimento ad una quantità definita, qualsiasi valore espresso in dBm può essere convertito direttamente in watt, e, noto il valore della resistenza, o comunque del carico nel quale tale potenza viene dissipata, è facile ricavare i valori corrispondenti in volt ed in ampère.

Per convenzione, si è stabilito che « **0 dBm = 1 mW su 600 ohm** ». Ciò significa che misurando una potenza d'uscita ai capi di un carico di 600 ohm, il valore della potenza misurata è di 1 mW se l'indice si ferma sul valore 0 dB.

Dal momento che $P = E^2 : R$, sostituendo i valori noti in questa eguaglianza avremo che:

$$0{,}001 = E^2 : 600 \quad (0{,}001\ \text{W} = 1\ \text{mW})$$

$$\text{da cui} \quad E^2 = 0{,}001 \times 600 = 0{,}6$$

$$\text{da cui} \quad E = 0{,}775\ \text{volt.}$$

Trattandosi di un voltmetro per corrente alternata, come ad esempio il « tester » descritto nella 42ª lezione, questa lettura è possibile sulla portata di 5 volt f. s. La scala in decibel potrà essere usata anche nelle portate successive (10, 25, 50 e 100 volt f. s.): occorrerà però aggiungere alla lettura in decibel i seguenti valori, a seconda della portata:

10 volt f.s.	. . . . . aggiungere	+ 6 dB
25 volt f.s.	. . . . . aggiungere	+13 dB
50 volt f.s.	. . . . . aggiungere	+19,5 dB
100 volt f.s.	. . . . . aggiungere	+25,5 dB

Esempi di calcolo. Ci riferiamo allo standard adottato secondo il quale 0 dBm = 1 mW su 600 ohm. Fermo restando il valore ohmico del carico (sia resistivo che induttivo), per calcolare — ad esempio — la tensione corrispondente a +20 dB, si procede come segue: Il rap-

TABELLA 64 — LIVELLI in DECIBEL in FUNZIONE del RAPPORTO di TENSIONE (o CORRENTE) e di POTENZA

← − P1:P2	E1:E2	dB	E1:E2	P1:P2 + →
1,0000	1,0000	0	1,000	1,000
0,9772	0,9886	0,1	1,012	1,023
0,9550	0,9772	0,2	1,023	1,047
0,9333	0,9661	0,3	1,035	1,072
0,9120	0,9550	0,4	1,047	1,096
0,8913	0,9441	0,5	1,059	1,122
0,8710	0,9333	0,6	1,072	1,148
0,8511	0,9226	0,7	1,084	1,175
0,8318	0,9120	0,8	1,096	1,202
0,8128	0,9016	0,9	1,109	1,230
0,7943	0,8913	1	1,122	1,259
0,7762	0,8810	1,1	1,135	1,288
0,7586	0,8710	1,2	1,148	1,318
0,7413	0,8610	1,3	1,161	1,349
0,7244	0,8511	1,4	1,175	1,380
0,7079	0,8414	1,5	1,189	1,413
0,6918	0,8318	1,6	1,202	1,445
0,6761	0,8222	1,7	1,216	1,479
0,6607	0,8128	1,8	1,230	1,514
0,6457	0,8035	1,9	1,245	1,549
0,6310	0,7943	2	1,259	1,585
0,6166	0,7852	2,1	1,274	1,622
0,6026	0,7762	2,2	1,288	1,660
0.5888	0,7674	2,3	1,303	1,698
0.5754	0,7586	2,4	1,318	1,738
0,5623	0,7499	2,5	1,334	1,778
0,5495	0,7413	2,6	1,349	1,820
0,5370	0,7328	2,7	1,365	1,862
0,5248	0,7244	2,8	1,380	1,905
0,5129	0,7161	2,9	1,396	1,950
0.5012	0,7079	3,0	1,413	1,995
0,4898	0,6998	3,1	1,429	2,042
0,4786	0,6918	3,2	1,445	2,089
0,4677	0,6839	3,3	1,462	2,138
0,4571	0,6761	3,4	1,479	2,188
0,4467	0,6683	3,5	1,496	2,239
0,4365	0.6607	3.6	1,514	2,291
0,4266	0,6531	3,7	1,531	2,344
0,4169	0,6457	3,8	1,549	2,399
0,4074	0,6383	3,9	1,567	2,455
0,3981	0,6310	4.0	1,585	2,512
0,3890	0,6237	4,1	1,603	2,570
0,3802	0,6166	4,2	1,622	2,630
0,3715	0,6095	4,3	1,641	2,692
0,3631	0,6026	4,4	1,660	2,754
0,3548	0,5957	4,5	1,679	2,818
0,3467	0,5888	4,6	1,698	2,884
0,3388	0,5821	4,7	1,718	2,951
0,3311	0,5754	4,8	1,738	3,020
0,3236	0,5689	4,9	1,758	3,090
0,3162	0,5623	5,0	1,778	3,162
0,3090	0,5559	5,1	1,799	3,236
0,3020	0,5495	5,2	1,820	3,311
0,2951	0,5433	5,3	1,841	3.388
0,2884	0,5370	5,4	1,862	3,467
0,2818	0,5309	5,5	1,884	3,548
0,2754	0,5248	5,6	1,905	3,631
0,2692	0,5188	5,7	1,928	3,715
0,2630	0,5129	5,8	1,950	3,802
0,2570	0,5070	5,9	1,972	3,890
0,2512	0,5012	6,0	1,995	3,981
0,2455	0,4955	6,1	2,018	4,074
0,2399	0,4898	6,2	2,042	4,169
0,2344	0,4842	6,3	2,065	4,266
0,2291	0,4786	6,4	2,089	4,365
0,2239	0,4732	6,5	2,113	4,467
0,2188	0,4677	6,6	2,138	4,571
0,2138	0,4624	6,7	2,163	4,677
0,2089	0,4571	6,8	2,188	4,786
0,2012	0,4519	6,9	2,213	4,898

← − P1:P2	E1:E2	dB	E1:E2	P1:P2 + →
0,1995	0,4467	7,0	2,239	5,012
0,1950	0,4416	7,1	2,265	5,129
0,1905	0,4365	7,2	2,291	5,248
0,1862	0,4315	7,3	2,317	5,370
0,1820	0,4266	7,4	2,344	5,495
0,1778	0,4217	7,5	2,371	5,623
0,1738	0,4169	7,6	2,399	5,754
0,1698	0,4121	7,7	2,427	5,888
0,1660	0,4074	7,8	2,455	6,026
0,1622	0,4027	7,9	2,483	6,166
0,1585	0,3981	8	2,512	6,310
0,1549	0,3936	8,1	2,541	6,457
0,1514	0,3890	8,2	2,570	6,607
0,1479	0,3846	8,3	2,600	6,761
0,1445	0,3802	8,4	2,630	6,918
0,1413	0,3758	8,5	2,661	7,079
0,1380	0,3715	8,6	2,692	7,244
0,1349	0,3673	8,7	2,723	7,413
0,1318	0,3631	8,8	2,754	7,586
0,1288	0,3589	8,9	2,786	7,762
0,1259	0,3548	9	2,818	7,943
0,1230	0,3508	9,1	2,851	8,128
0,1202	0,3467	9,2	2,884	8,318
0,1175	0,3428	9,3	2,917	8,511
0,1148	0,3388	9,4	2,951	8,710
0,1122	0,3350	9,5	2,985	8,913
0,1096	0,3311	9,6	3,020	9,120
0,1072	0,3273	9,7	3,055	9,333
0,1047	0,3236	9,8	3,090	9,550
0,1023	0,3199	9,9	3,126	9,772
0,1000	0,3162	10,0	3,162	10,000
0,09772	0,3126	10,1	3,199	10,23
0,09550	0,3090	10,2	3,236	10,47
0,09333	0,3055	10,3	3,273	10,72
0,09120	0,3020	10,4	3,311	10,96
0,08913	0,2985	10,5	3,350	11,22
0,08710	0,2951	10,6	3,388	11,48
0,08511	0,2917	10,7	3,428	11,75
0,08318	0,2884	10,8	3,467	12,02
0,08128	0,2851	10,9	3,508	12,30
0,07943	0,2818	11,0	3,548	12,59
0,07762	0,2786	11,1	3,589	12,88
0,07586	0,2754	11,2	3,631	13,18
0,07413	0,2723	11,3	3,673	13,49
0,07244	0,2692	11,4	3,715	13,80
0,07079	0,2661	11,5	3,758	14,13
0,06918	0,2630	11,6	3,802	14,45
0,06761	0,2600	11,7	3,846	14,79
0,06607	0,2570	11,8	3,890	15,14
0,06457	0,2541	11,9	3,936	15,49
0,06310	0,2512	12,0	3,981	15,85
0,06166	0,2483	12,1	4,027	16,22
0,06026	0,2455	12,2	4,074	16,60
0,05888	0,2427	12,3	4,121	16,98
0,05754	0,2399	12,4	4,169	17,38
0,05623	0,2371	12,5	4,217	17,78
0,05495	0,2344	12,6	4,266	18,20
0,05370	0,2317	12,7	4,315	18,62
0,05248	0,2291	12,8	4,365	19,05
0,05129	0,2265	12,9	4,416	19,50
0,05012	0,2239	13,0	4,467	19,95
0,04898	0,2213	13,1	4,519	20,42
0,04786	0,2188	13,2	4,571	20,89
0,04677	0,2163	13,3	4,624	21,38
0,04571	0,2138	13,4	4,677	21,88
0,04467	0,2113	13,5	4,732	22,39
0,04365	0,2089	13,6	4,786	22,91
0,04266	0,2065	13,7	4,842	23,44
0,04169	0,2042	13,8	4,898	23,99
0,04074	0,2018	13,9	4,955	24,55

← − P1:P2	E1:E2	dB	E1:E2	P1:P2 + →
0,03981	0,1995	14	5,012	25,12
0,03890	0,1972	14,1	5,070	25,70
0,03802	0,1950	14,2	5,129	26,30
0,03715	0,1928	14,3	5,188	26,92
0,03631	0,1905	14,4	5,248	27,54
0,03548	0,1884	14,5	5,309	28,18
0,03467	0,1862	14,6	5,370	28,84
0,03388	0,1841	14,7	5,433	29,51
0,03311	0,1820	14,8	5,495	30,20
0,03236	0,1799	14,9	5,559	30,90
0,03162	0,1778	15	5,623	31,62
0,03090	0,1758	15,1	5,689	32,36
0,03020	0,1738	15,2	5,754	33,11
0,02951	0,1718	15,3	5,821	33,88
0,02884	0,1698	15,4	5,888	34,67
0,02818	0,1679	15,5	5,957	35,48
0,02754	0,1660	15,6	6,026	36,31
0,02692	0,1641	15,7	6,095	37,15
0,02630	0,1622	15,8	6,166	38,02
0,02570	0,1603	15.9	6,237	38,90
0,02512	0,1585	16	6,310	39,81
0,02455	0,1567	16,1	6,383	40,74
0,02399	0,1549	16,2	6,457	41,69
0,02344	0,1531	16,3	6,531	42,66
0,02291	0,1514	16,4	6,607	43,65
0,02139	0,1496	16,5	6,683	44,67
0,02188	0,1479	16,6	6,761	45,71
0,02138	0,1462	16,7	6,839	46,77
0,02089	0,1445	16,8	6,918	47,86
0,02042	0,1429	16,9	6,998	48,98
0,01995	0,1413	17,0	7,079	50,12
0,01950	0,1396	17,1	7,161	51,29
0,01905	0,1380	17,2	7,244	52,48
0,01862	0,1365	17,3	7,328	53,70
0,01820	0,1349	17,4	7,413	54,95
0,01778	0,1334	17,5	7,499	56,23
0,01738	0,1318	17,6	7,586	57,54
0,01698	0,1303	17,7	7,674	58,88
0,01660	0,1288	17,8	7,762	60,26
0,01622	0,1274	17,9	7,852	61,66
0,01585	0,1259	18,0	7,943	63,10
0,01549	0,1245	18,1	8,035	64,57
0,01514	0,1230	18,2	8,128	66,07
0,01479	0,1216	18,3	8,222	67,61
0,01445	0,1202	18,4	8,318	69,18
0,01413	0,1189	18,5	8,414	70,79
0,01380	0,1175	18,6	8,511	72,44
0,01349	0,1161	18,7	8,610	74,13
0,01318	0,1148	18,8	8,710	75,86
0,01288	0,1135	18,9	8,811	77,62
0,01259	0,1122	19,0	8,913	79,43
0,01230	0,1109	19,1	9,016	81,28
0,01202	0,1096	19,2	9,120	83,18
0,01175	0,1084	19,3	9,226	85,11
0,01148	0,1072	19,4	9,333	87,10
0,01122	0,1059	19,5	9,441	89,13
0,01096	0,1047	19,6	9,550	91,20
0,01072	0,1035	19,7	9,661	93,33
0,01047	0,1023	19,8	9,772	95,50
0,01023	0,1012	19,9	9,886	97,72
0,01000	0,1000	20.0	10,000	100,00
10^{-3}		30		10^{3}
10^{-4}	10^{-2}	40	10^{2}	10^{4}
10^{-5}		50		10^{5}
10^{-6}	10^{-3}	60	10^{3}	10^{6}
10^{-7}		70		10^{7}
10^{-8}	10^{-4}	80	10^{4}	10^{8}
10^{-9}		90		10^{9}
10^{-10}	10^{-5}	100	10^{5}	10^{10}

porto di potenza di +20 dB (dalla tabella) è 100, per cui la potenza effettiva è data da:

$$0{,}001 \text{ W (pari ad 1 mW)} \times 100 = 0{,}1 \text{ W}.$$

Sappiamo che la potenza è data da $P = E^2 : R$, da cui $E^2 = P \times R$, di conseguenza, poichè R = 600 ohm, avremo che:

$$E^2 = 0{,}1 \times 600 = 60.$$

Infine, poichè il quadrato della tensione (E^2) è 60, E sarà eguale a $\sqrt{60} = 7{,}746$ volt.

Viceversa, sapendo — ad esempio — che su un carico di 600 ohm si dispone di una tensione di 10 volt, si può conoscere l'ammontare dei decibel come segue:

$$E = 10 \quad \text{per cui} \quad E^2 = 100$$

$$\text{se } P = E^2 : R \quad \text{abbiamo che} \quad P = 100 : 600 = 0{,}166.$$

La potenza effettiva è inoltre data dalla potenza standard (1 mW) moltiplicata per il rapporto di potenza, che è tuttora incognito.

In tal caso, P = 0,166 per cui il rapporto di potenza è dato da:

$$P1 : P2 = 0{,}166 : 0{,}001 = 166 \text{ (pari a } 100 + 66).$$

Ad un rapporto di potenza pari a 100 corrisponde un valore di +20 dB e ad un rapporto di 66 corrisponde un valore di 18,2 dB. Si ha pertanto 20 + 18,2 = 38,2 dB.

L'espressione *0 dB = 1 mW su 600 ohm* è normalmente riportata sulle scale degli strumenti di cui sono dotati i « tester » di produzione commerciale. Alcuni strumenti di vecchio tipo sono basati invece su un altro standard, attualmente in disuso, secondo il quale 0 dB = 6 mW su 500 ohm.

La lettura può comunque essere effettuata, oltre che sul carico stabilito di 600 ohm, anche su altri carichi di valore diverso, mediante un semplice calcolo.

Supponiamo di misurare, col tester capacimetro descritto nella lezione 42ª, una tensione di 0,4 volt su un carico di 25 ohm (e non di 600). Sappiamo che la potenza in watt è data da $P = V^2 : R$ (R ammonta a 25 ohm). Di conseguenza avremo che:

$$P = (0{,}4)^2 : 25 = 0{,}16 : 25 = 0{,}0064 \text{ watt}.$$

Una volta nota la potenza corrispondente alla tensione misurata, e riferita al valore del carico ai capi del quale essa si sviluppa, possiamo calcolare a quale tensione essa corrisponderebbe su un carico di 600 ohm. Sempre con la medesima formula, abbiamo che:

$$0{,}0064 = V^2 : 600 \quad \text{da cui} \quad V^2 = 600 \times 0{,}0064 = 3{,}84$$

$$\text{di conseguenza } V = \sqrt{3{,}84} = 1{,}95$$

Consultando semplicemente la scala del nostro tester, constatiamo che la tensione di 1,95 volt (nella portata 5 volt f.s.) corrisponde a circa 8 dB; riferiti, questi ultimi, a 600 ohm.

TABELLA 65

CONVERSIONE delle UNITA' di SUPERFICIE INGLESI e dei LORO MULTIPLI e SOTTOMULTIPLI

UNITÀ	Poll.²	Piede²	Yarda²	cm²	m²
1 Pollice²	1	—	—	6,452	—
1 Piede²	144	1	0,111	929,2	0,0929
1 Yarda²	1296	9	1	8.363	0,8363
1 cm²	0,155	0,0011	—	1	0,0001
1 m²	1.550	10,76	1,196	10.000	1

TABELLA 66

CONVERSIONE delle UNITA' di MISURA LINEARI INGLESI e dei LORO MULTIPLI e SOTTOMULTIPLI

Unità	Inch	Foot	Yard	cm	metri	km
1 Inch *(pollice)*	1	0,083	0,028	2,54	0,025	—
1 Foot *(piede)*	12	1	0,333	30,48	0,305	—
1 Yard *(yarda)*	36	3	1	91,44	0,914	—
1 centimetro	0,39	0,03	0,01	1	0,01	0.000.01
1 metro	39,37	3,281	1,094	100	1	0,001
1 km	—	3.281	1.094	100.000	1.000	1

Le due tabelle qui riportate, che fanno seguito alla serie di quelle precedentemente pubblicate, integrano e completano le tabelle 6, 7 e 9, riportate rispettivamente a pag. 21 e 22.

Coloro che hanno occasione di consultare testi e riviste inglesi ed americane, si trovano spesso a dover calcolare la corrispondenza di misure lineari o di superficie. Ad esempio, allorchè si sviluppa l'argomento della portata di un trasmettitore, o la superficie in cui è possibile la ricezione, o ancora nel calcolo della lunghezza di una bobina, ecc.

Sono ormai noti al lettore i valori in millimetri, metri, sia quadrati che lineari, corrispondenti ai pollici, piedi, ecc. Tuttavia, le tabelle 65 e 66 riportate a lato, consentono la conversione più rapida, in quanto essa può essere effettuata con un solo passaggio.

Supponiamo, ad esempio, di dover convertire la misura di 25 piedi quadrati in metri quadrati. Dalla tabella 65 rileviamo che un piede quadrato corrisponde a 0,0929 metri quadrati. Tale è il fattore di moltiplicazione che ci consente di ottenere rapidamente il valore corrispondente: infatti,

$$0{,}0929 \times 25 = 2{,}3225 \text{ m}^2$$

Analogamente, supponiamo di dover convertire la misura di 15 yard in metri. Dalla tabella 66 apprendiamo che 1 yard corrisponde a 0,914 metri. Di conseguenza avremo che

$$0{,}9914 \times 15 = 13{,}71 \text{ metri}.$$

Entrambe le tabelle sono ovviamente reversibili, per cui consentono con la medesima semplicità la conversione di unità decimali in unità inglesi, come pure delle sole unità inglesi o decimali nei relativi multipli e sottomultipli.

è uscito il N. 97

Chiedetelo alla vostra edicola; se ne è sprovvista, comunicate al giornalaio che il servizio distribuzione per tutta Italia alle edicole, è ora affidato alla Spett. Diffusione Milanese - Milano - Via Soperga, 57

4 copie gratuite

I N.ri 96 - 95 - 94 - 93 o altri Numeri arretrati a richiesta, saranno inviati in omaggio ai contraenti l'abbonamento 1961.

Abbonamento per 12 Numeri. . . . . lire 3.060.

Per gli abbonati al "Corso di Radiotecnica". . . . . solo lire 2.754.

E una rivista a carattere tecnico commerciale che su ognuno dei suoi fascicoli di oltre 100 pagine, tratta — con indirizzo di praticità e accessibilità senza pari — tutti i problemi dell'elettronica.

La Televisione, la tecnica della Bassa Frequenza, con particolare riguardo all'Alta Fedeltà, l'emissione dilettantistica, le misure ed i relativi apparecchi, i transistori, ecc. sono argomenti, praticamente, di ogni numero.

Un'ampia e dettagliata rassegna della produzione nazionale ed estera offre al lettore la possibilità di mantenersi al corrente su ciò che costantemente il mercato presenta di nuovo.

È una rivista ricca di contenuto — ove tutti gli articoli sono accessibili a tutti i lettori — molto illustrata, stampata su ottima carta, razionalmente impaginata.

Abbonamento:

"RADIO e TELEVISIONE" -

via dei Pellegrini N. 8/4, Milano

conto corrente postale: 3/4545

Ecco perchè RADIO e TELEVISIONE è la rivista del ramo a più alta tiratura in Italia!

Per la costruzione delle vostre apparecchiature radio, la Ditta GIAN BRUTO CASTELFRANCHI è in grado di fornirvi tutto il materiale occorrente. Rivolgetevi alla più vicina delle sue sedi o direttamente alla sede Centrale - Via Petrella, N. 6 - Milano.

SEDI G.B.C.

AVELLINO	- Via Vitt. Emanuele, 122
BARI	- Piazza Garibaldi, 58
BOLOGNA	- Via R. Reno, 62
BENEVENTO	- Corso Garibaldi, 12
BERGAMO	- Via S. Bernardino, 28
CIVITANOVA	- Corso Umberto, 77
CAGLIARI	- Via Rossini, 44
CATANIA	- Via Cimarosa, 10
CREMONA	- Via Cesari, 1
FIRENZE	- Viale Belfiore, 8 r
GENOVA	- Piazza J. da Varagine 7/8 r
LA SPEZIA	- Via Persio, 5 r
MANTOVA	- Via Arrivabene, 35
NAPOLI	- Via Camillo Porzio, 10 a/b
PALERMO	- Piazza Castelnuovo, 48
PADOVA	- Via Beldomandi, 1
ROMA	- Via S. Agostino, 14
TORINO	- Via Nizza, 34

Ricordate che, disponendo del "CATALOGO ILLUSTRATO GBC", potrete con facilità individuare le parti staccate che vi interessano: è un grosso volume di ben 613 pagine che potrete richiedere - con versamento di lire 1000 - all'indirizzo citato.